


HERSANT
BINDER
15 GOWER PLACE

ANNUAIRE
SCIENTIFIQUE

HUITIÈME ANNÉE

1869

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1.

LES PROGRÈS DES SCIENCES EN 1868

ANNUAIRE SCIENTIFIQUE

PUBLIÉ PAR

P.-P. DEHÉRAIN

DOCTEUR ÈS SCIENCES, LAURÉAT DE L'INSTITUT

PROFESSEUR DE CHIMIE A L'ÉCOLE CENTRALE D'ARCHITECTURE ET AU COLLÉGE CHAPTAL
CHARGÉ DE COURS A L'ÉCOLE IMPÉRIALE D'AGRICULTURE DE GRIGNON
MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATIQUE

AVEC LA COLLABORATION DE MM.

H. BLERZY, inspecteur des lignes télégraphiques ;
Dr P. BROUARDEL ; **J. DALSÈME**, ancien élève de l'École polytechnique ;
CH. GARIEL, ingénieur des ponts et chaussées ;
A. GUILLEMIN, auteur du *Ciel*; **E. LANDRIN**, répétiteur à l'école d'architecture :
MARGOLLÉ, ancien officier de marine;
MASCART, professeur suppléant au collége de France ;
STANISLAS MEUNIER, aide-naturaliste au Muséum d'histoire naturelle ;
R. RADAU ; **G. RAYET**, astronome à l'Observatoire de Paris ;
A. REITOP ; **SCHWÆBLÉ**, officier d'artillerie ;
G. TISSANDIER ; **ZURCHER**, ancien officier de marine.

HUITIÈME ANNÉE

1869

1868

PARIS

VICTOR MASSON ET FILS

PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE

AVERTISSEMENT

Le terrible tremblement de terre qui a dévasté toute la côte américaine du Pacifique laissera à l'année 1868 une triste célébrité. Les renseignements que nous avons pu nous procurer sur ce cataclysme déplorable, un des plus cruels qui aient atteint notre planète depuis les âges historiques, sont loin d'être assez complets pour que nous ayons cru devoir étudier dès à présent les questions scientifiques qu'il soulève ; nous renvoyons ce travail à l'an prochain, en donnant simplement aujourd'hui l'exposé des faits. Au moment même où étaient détruites de florissantes cités, où périssaient des milliers de créatures humaines, une partie de l'Afrique, l'Inde, la Cochinchine étaient témoins d'une admirable éclipse totale de soleil ; un de nos collaborateurs les plus dévoués, M. Rayet, faisait partie de la mission envoyée par l'Observatoire en Cochinchine ; on trouvera le travail qu'il a bien voulu écrire pour l'*Annuaire* au commencement du volume. M. Rayet y expose non-seulement ses propres observations, mais il y discute encore celles qui ont été

faites par d'autres savants, et il rend compte particulièrement du travail de notre excellent ami M. Janssen. Envoyé dans l'Inde par l'Académie, notre collègue de l'École d'architecture a illustré sa mission par l'observation du spectre des protubérances en dehors des éclipses ; on sait qu'un savant anglais, M. Lockyer, croyait depuis longtemps à la possibilité de cette observation, il ne la réalisa cependant qu'après que les résultats des observations françaises furent connus en Europe, et, par une coïncidence singulière, c'est à la même séance de l'Académie des sciences que furent présentés le mémoire de M. Lockyer et une lettre de M. Janssen annonçant sa découverte. C'est à M. Janssen que revient incontestablement la priorité de l'observation, puisque dès le lendemain de l'éclipse, il s'était mis à l'œuvre ; les nombreuses lettres qu'il a adressées en Europe dès le mois de septembre ne laissent aucun doute sur ce sujet[1].

[1] M. Janssen nous adressait à cette époque une lettre qui vient ajouter une nouvelle preuve à l'appui de tous les autres documents qui décident en sa faveur.

Cocanada, 4 septembre 1868.

« Mon cher ami,

« J'ai le plaisir de t'annoncer que je viens de découvrir une méthode qui nous fera marcher bon train dans la connaissance de la constitution du Soleil. Il s'agit de l'observation des protubérances en dehors des éclipses. J'ai conçu l'idée de cette méthode pendant l'éclipse même et je l'ai appliquée dès le lendemain : l'idée s'est complétement vérifiée.

« Les protubérances sont surtout formées d'hydrogène incandescent ; leur spectre est formé de cinq ou six lignes très-brillantes. C et F entre autres y brillent d'un grand éclat. Dans le spectre solaire au contraire ces lignes sont obscures. De là la possibilité d'apercevoir non les protu-

Le chapitre consacré à l'astronomie se termine par l'étude du passage de Mercure, et par une notice sur les petites planètes découvertes récemment, dues l'une et l'autre à notre fidèle collaborateur M. A. Guillemin. Au moment où cette partie du volume a été imprimée, on n'avait pas encore tous les documents étrangers relatifs à cette importante question; M. A. Guillemin a placé dans un appendice à la fin du volume les derniers résultats qui lui sont parvenus.

Nous avons complété cette année l'étude de la théorie mécanique de la chaleur en insérant un article important sur le second principe énoncé d'abord par Sadi Carnot et

bérances elles-mêmes, mais leurs principales lignes spectrales en dehors des éclipses.

« . . . . L'étude à de longs intervalles et pendant les courts instants d'une éclipse se trouve remplacée par une observation continue qui nous montrera les changements de situation, de forme, de composition, de ces mystérieux appendices du Soleil.

« Dès aujourd'hui je sais que ce sont comme d'immenses nuages formés surtout d'hydrogène incandescent, des centaines de fois plus gros que la Terre et animés de mouvements si violents qu'un quart d'heure y amène des changements de forme très-marqués. J'en ai observé d'entièrement détachés du Soleil.

« . . . . Je pars pour Calcutta et les Himalayas où j'espère reprendre la question de la vapeur d'eau planétaire et stellaire ; mais je sens que ma vue est fatiguée par ces études continues, que veux-tu, il faut poursuivre la carrière sans regarder à la fatigue et aux blessures du chemin. Nous ne produisons qu'à la condition de laisser un peu de nous-mêmes dans chacune de nos œuvres ; c'est la loi de la vie, il faut l'accepter puisqu'elle est ainsi. Adieu, je te serre la main.

« Ton ami,

« JANSSEN. »

récemment tiré de l'oubli par M. Clausius, et un résumé du travail de M. Regnault sur la vitesse du son, qui lui a fourni une nouvelle mesure de l'équivalent mécanique de la chaleur. Les considérations qui sont développées dans le premier de ces articles sont nouvelles ; on aura peut-être quelque difficulté à les suivre d'abord, mais nous pensons que tous les lecteurs qui veulent pénétrer jusqu'au fond des choses et ne s'arrêter que juste au point où la science elle-même s'arrête, nous sauront gré d'avoir publié ces études concises qui nous conduisent au point le plus élevé qu'aient encore atteint les spéculations humaines. M. Gariel a inséré dans ce même chapitre réservé à la physique, une notice importante sur la transmission de l'électricité; la construction chaque jour plus nombreuse des câbles sous-marins donne à ce travail une grande actualité.

Nous avons nous-même rédigé trois notices de chimie. L'une a trait à l'ozone et à la détermination de sa densité par M. Sorel; dans la seconde nous revenons encore une fois sur les travaux de MM. Deville et Debray sur la dissociation; enfin nous avons résumé dans la troisième les curieux travaux de M. Graham relatifs à l'occlusion des gaz dans les métaux, connus au mois de novembre; ces travaux ont reçu récemment une extension du plus grand intérêt par l'étude des propriétés physiques de l'alliage de palladium et d'*hydrogénium*, nous faisons connaître au lecteur cette découverte capitale par un court appendice placé à la fin du volume.

Outre la description du tremblement de terre, le chapitre consacré à la physique du globe comprend une étude

de M. Zurcher sur le vent chaud des Alpes, le fœhn, et sur les relations qui le lient à la disparition des glaces, qui d'après quelques géologues se sont étendues autrefois en Europe sur de bien plus grandes surfaces qu'aujourd'hui. Un article sur les progrès de la météorologie écrit par M. Margollé, et un intéressant résumé des travaux de M. Daubrée sur les météorites, écrit par M. Stanislas Meunier, aide de géologie au Muséum, qui a lui-même étudié cette question avee succès, complètent cette partie du volume.

Il n'a pas dépendu de nous que le lecteur trouvât dans l'*Annuaire* un résumé du nouvel ouvrage de M. Darwin ; nous y reviendrons l'an prochain. Une notice sur la végétation dans l'obscurité est le seul travail d'histoire naturelle que nous ayons inséré cette année.

M. Blerzy, inspecteur des lignes télégraphiques, dont le nom est connu de tous les amis des sciences, est venu se joindre à nous. Il a rédigé pour l'*Annuaire* une notice sur l'assainissement des villes, qui commence le chapitre de l'art de l'ingénieur ; M. Schwæblé, M. Gariel, M. Tissandier, ont complété cette partie de l'ouvrage par des notices sur le chauffage des machines à vapeur à l'aide des pétroles, sur une nouvelle lampe sous-marine et sur les puits instantanés. Un article de M. Dalsème, ancien élève de l'école polytechnique, sur l'emploi à la guerre des chemins de fer et des télégraphes, vient ensuite et nous mène jusqu'à deux études importantes de M. Gariel ; dans l'une il expose les nouvelles dispositions utilisées dans les orgues d'église, dans l'autre il fait connaître

l'ouvrage capital de M. Helmholtz, sur la théorie physiologique de la musique.

Un de nos élèves, M. Landrin, répétiteur à l'École d'architecture, a écrit pour nous une notice sur les travaux de M. de Luynes relatifs à l'orcine et à ses dérivés ; M. le docteur Brouardel nous a donné un travail étendu sur la vaccine, où il fait connaître particulièrement les recherches importantes publiées depuis quelques années par M. Chauveau sur les différents virus. — Enfin nous terminons le volume par deux articles consacrés à l'agriculture. Dans l'un nous examinons la doctrine de M. G. Ville sur l'emploi des engrais chimiques dans la grande culture, et dans l'autre nous résumons le gigantesque travail publié par le ministère de l'agriculture, qui comprend tous les documents recueillis pendant l'Enquête.

Comme l'an dernier, des notices bibliographiques ont été annexées à différents chapitres. C'est ainsi que nous avons analysé outre les œuvres posthumes de Verdet, les ouvrages récents de MM. Decaisne, Blanchard, Helmholtz, Wurtz, Delesse et de Lapparent, Zurcher et Margollé, Fonssagrives, etc.

Nous avons aussi inséré dans ce volume plusieurs notices biographiques ; notre collègue au collége Chaptal, M. Mascart, a écrit une notice remarquable sur Pouillet, M. Gariel s'est chargé d'apprécier l'œuvre de Foucault et celle de Matteucci. M. R. Radau a bien voulu nous permettre de reproduire l'article nécrologique qu'il avait consacré au général Poncelet, dans la *Revue des Deux Mondes*, et nous avons enfin nous-même rappelé les travaux de Schœnbein.

Le lecteur a trouvé dans ce rapide aperçu, mêlés aux noms de nos anciens collaborateurs, les noms de savants et d'écrivains distingués qui sont venus grossir notre association. A mesure que nous trouvons ainsi dans le monde savant des adhésions plus nombreuses, à mesure aussi nos chances de présenter un tableau fidèle du mouvement scientifique s'augmentent, et l'*Annuaire scientifique* devient plus sûrement l'organe de tous ceux qui jugent que l'étude d'une question est assez avancée pour qu'elle puisse être présentée au public.

Si nous regrettons vivement de n'avoir pas inséré cette année d'article relatif au mouvement de l'instruction publique en France, si nous eussions été heureux d'applaudir aux efforts d'un ministre désireux de voir notre pays reprendre dans le monde savant la place qu'il a si longtemps occupée, et qui y contribue efficacement par la création de laboratoires mieux dotés que par le passé, nous avons systématiquement laissé de côté toutes les questions irritantes de personnes qui n'ont pas plus fait défaut en 1868 que dans les années précédentes.

On trouvera peut-être que nous eussions dû rappeler la triste mystification dont est victime un savant géomètre, ou revenir sur la singulière querelle qui a été faite aux professeurs de l'École de médecine; sans doute ces polémiques auraient donné plus de vie au tableau que nous présentons du mouvement scientifique de l'année qui finit, et cependant nous croyons qu'au lieu de nous attarder à ces petits débats dont le bon sens public a si facilement raison, il vaut mieux entraîner le lecteur vers ces régions sereines de la

science où s'éteignent les clameurs des vanités blessées, et les chuchotements des coteries ; là dans ce pur monde de l'esprit, un cœur élevé se réjouit au spectacle d'une noble activité, il entend le pic du chercheur perçant la dure roche de l'inconnu et à travers les brèches déjà faites, il aperçoit les premières lueurs de l'éclatante vérité.

P.-P. D.

PREMIÈRE PARTIE

SCIENCES PURES

ASTRONOMIE

I

ÉCLIPSE TOTALE DE SOLEIL

DU 18 AOUT 1868.

I

IMPORTANCE DE L'OBSERVATION PHYSIQUE DES ÉCLIPSES TOTALES

Au siècle dernier, lorsque les instruments méridiens étaient moins parfaits, lorsque les méthodes de réduction étaient moins exactes, les éclipses de soleil présentaient un intérêt astronomique considérable : l'heure exacte de la conjonction des deux astres, le Soleil et la Lune, fournissait un élément important pour la rectification des tables du mouvement de ces deux corps. Aujourd'hui, les conditions sont bien changées. Les tables du Soleil et de la Lune, déduites d'un nombre très-considérable d'observations, ont acquis une haute précision, et la connaissance de l'instant des contacts n'a plus qu'une faible importance ; aussi les astronomes négligent-ils assez volontiers l'observation des éclipses partielles et même annulaires, réservant toute leur attention et tous leurs moyens d'action pour l'étude des éclipses totales.

Dans les instants, malheureusement trop rares, où la lune vient, comme un vaste écran, cacher le disque solaire tout entier, l'observateur n'étant plus ébloui par la lumière émise par le corps de l'astre, peut espérer saisir quelques-uns des phénomènes de son atmosphère et acquérir ainsi des notions sur la constitution de cet astre, dont l'incandescence perpétuelle exerce depuis si longtemps la sagacité des astronomes.

Les considérations précédentes justifient l'importance, que depuis longtemps les savants soucieux du progrès de l'astronomie physique attachent à l'observation des éclipses totales. En ce qui concerne la dernière éclipse, les travaux récents de MM. Faye, Balfour Stewart et Lockyer sur la constitution du Soleil donnaient un intérêt spécial à l'étude des protubérances roses qui dans les éclipses totales se montrent sur le bord de la lune. Ces protubérances appartiennent-elles à la Lune ou au Soleil ? Dans ce dernier cas quelle est leur nature ? Telles étaient les principales questions à résoudre.

II

ÉCLIPSE DE 1860.

Les protubérances ont été pour la première fois décrites avec quelques détails en 1842, lors de l'éclipse totale de Soleil qui fut visible le 8 juillet dans le midi de la France, le nord de l'Italie, et une portion de l'Allemagne. A Perpignan, les protubérances furent observées par MM. Arago, Laugier et V. Mauvais ; à Montpellier par M. Petit, à la Superga (Turin) par M. Airy, à Pavie par M. Baily.

Les observateurs comparèrent ces saillies « rosacées dans leur ensemble, vertes en quelques points, » à des montagnes de glace éclairées par le soleil couchant (V. Mauvais, Petit, Pinaud, Boisgiraud, Baily, Littrow), à des flammes rouges (Airy, Schumacher). Dans tous les cas ces corps semblèrent reposer sur le bord de la lune.

Le 28 juillet 1851, les astronomes envoyés sur les côtes de Norvége ou dans le nord de la Prusse, remarquèrent des protubérances entièrement détachées du disque lunaire.

Dans sa notice sur les éclipses et dans son astronomie populaire, Arago, raisonnant sur l'ensemble des observations faites pendant les éclipses de 1842, 1850 et 1851, attribue les protubérances à des nuages obscurs ou faiblement lumineux flottants dans une troisième enveloppe située au-dessus de la photosphère lumineuse. Cette explication du phénomène est, comme on le voit, une complication du système des photosphères qui avaient déjà servi à l'illustre directeur de l'Observatoire de Paris pour rendre compte de la formation et des apparences des taches solaires.

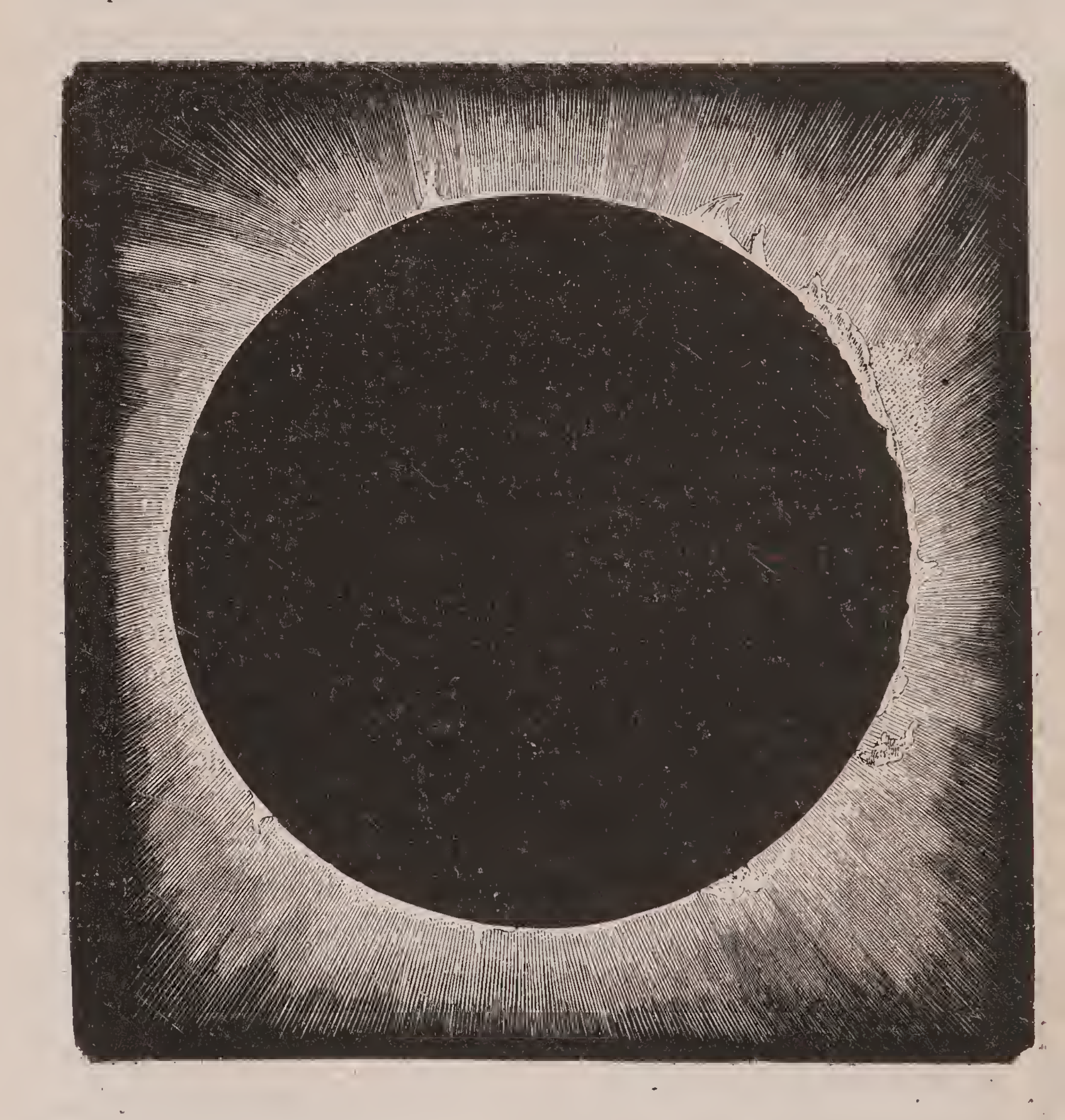
De 1851 à 1860 aucune éclipse totale de Soleil ne fut visible dans des pays assez voisins du nôtre pour que les astronomes d'Europe pussent songer à s'y transporter ; cependant les physiciens ne restaient pas oisifs. Parmi les moyens nouveaux créés, dans cet intervalle, pour l'étude des éclipses futures, il faut signaler la photographie du Soleil et de la Lune par M. Warren de la Rue. Dans un rapport sur la photographie astronomique présenté en 1859 à l'Association britannique, le célèbre astronome amateur montrait que les progrès accomplis dans cet art durant les dernières années, et la netteté des images solaires produites par le photohéliographe de l'observatoire physique de Kew faisaient espérer que, pendant la durée d'une éclipse totale, il serait possible d'obtenir plusieurs images de la couronne et des protubérances. On aurait ainsi des résultats très-précieux pour l'étude de la forme et du déplacement des protubérances.

La ligne de l'éclipse totale du 18 juillet 1860 traversait, du N. O. au S. E. environ, le nord de l'Espagne. Il était donc très-facile aux astronomes de s'échelonner sur le parcours du cône d'ombre et la saison indiquait que les observations seraient favorisées par le beau temps.

L'expédition photographique dirigée par M. Warren de la Rue s'établit à Rivabellosa (long. ouest $11^m\,42^s,7$; lat. $42^\circ\,12'$), dans la vallée de l'Èbre, avec une lunette achromatique pour les rayons chimiques, montée sur un pied parallactique et mue par un mouvement d'horlogerie réglé de manière à suivre exactement le déplacement du Soleil. L'image solaire formée au foyer principal de l'objectif était immédiatement amplifiée par un oculaire et au moment de sa projection sur la plaque sensible elle avait un diamètre de 10 centimètres.

Deux épreuves purent être obtenues pendant la totalité. Nous

donnons ici un *fac-simile* de celle qui représente le phénomène immédiatement après le commencement de l'obscurité totale. On y distingue sept groupes de protubérances : les unes ont la forme de montagnes, chaînes ou pics, en contact par leurs bases avec le disque lunaire ; les autres, celle d'un cône terminé par un panache



à plusieurs branches ; une dernière enfin n'est pas en contact avec la Lune et semble flotter comme un nuage à une certaine distance de celle-ci. La non-continuité de la partie concave tient, suivant M. Warren de la Rue, à des irrégularités dans le profil de notre satellite, irrégularités que l'irradiation doit d'ailleurs avoir beaucoup augmentées.

Les photographies de M. de la Rue, outre qu'elles donnent de

l'ensemble du phénomène une idée bien plus exacte qu'un dessin nécessairement fait dans un temps très-court, permettent de mesurer la position des protubérances, et par conséquent de voir si leur situation par rapport au disque lunaire est fixe ou variable; il suffit évidemment pour cela que les photographies portent sur leur bord un trait parallèle à la direction du mouvement diurne de la Lune.

Pareille précaution avait été prise par les observateurs de Rivabellosa et sur les deux épreuves de la totalité on a pu déterminer, par rapport au centre de la lune et à une direction est-ouest, la position angulaire de celle des protubérances, qui, par une heureuse circonstance, se sont trouvées à 90° environ de la direction du mouvement de notre satellite.

Si les protubérances, quelle que soit leur nature intime, sont des dépendances du Soleil, elles sont certainement fixes sur cet astre, au moins pendant les quelques minutes de la totalité, et comme la Lune glisse devant le Soleil à la manière d'un écran, elles doivent occuper sur le disque obscur de notre satellite des positions variables avec le temps écoulé et que l'on peut calculer *a priori* en s'aidant de la position géographique connue de la station et du mouvement relatif des deux astres.

Si, au contraire, les protubérances résultent d'une modification des rayons solaires au moment où ils rasent la Lune, par exemple d'une réfraction, comme cette modification est la propriété spéciale de certains points particuliers (les protubérances n'enveloppent point d'une manière complète la Lune), elles doivent occuper sur la Lune une position fixe.

Les mesures faites sur les photographies anglaises donnent gain de cause à la première hypothèse. *Les protubérances lumineuses appartiennent au Soleil*, puisqu'elles occupent des positions variables sur le bord de notre satellite.

Ce résultat est d'une importance qui ne peut échapper à aucun de nos lecteurs, et je crois devoir insister sur sa démonstration.

Pendant que M. Warren de la Rue préparait une expédition photographique, les astronomes de l'Observatoire de Paris[1] s'étaient transportés aux environs de Saragosse, à Montcayo (long. ouest 4°

[1] MM. Le Verrier, Foucault, Y. Villarceau, Chacornac, Ismaël-Bey et Tissot.

8′, latit. 41° 48′), avec les grands instruments de cet observatoire. On avait spécialement disposé pour cette circonstance le télescope à miroir argenté de M. Foucault de 0m,40 d'ouverture. Un temps convenable favorisa les observations, et dans une note récemment publiée dans les *Comptes rendus*[1], M. Y. Villarceau a montré que les mesures des positions angulaires des protubérances conduisaient à cette conséquence forcée que ces expansions lumineuses étaient mobiles sur les bords du disque lunaire et appartenaient par conséquent au Soleil.

Nous pouvons encore en donner une troisième preuve.

Si on suppose que sur un même méridien viennent se placer deux observateurs, l'un au nord, l'autre au sud de la ligne centrale d'une éclipse totale, le phénomène devra avoir pour les deux astronomes une apparence différente. Pour le premier la Lune cachera surtout la partie sud du Soleil, pour le second, surtout la partie nord et si, par hasard, il y a une protubérance au pôle solaire nord, le dernier devra la voir très-peu élevée, tandis que le premier lui reconnaîtra une hauteur considérable.

Les stations de M. Warren de la Rue à Rivabellosa, du R. P. Secchi et de M. Aguilard au desierto de las Palmas (long. ouest 2° 17′, latit. 40° 5′) sur les bords de la Méditerranée, réalisaient les conditions que nous venons de supposer, et dans les mesures de hauteur faites par ces astronomes sur les protubérances voisines des pôles du Soleil, on trouve précisément la différence qui, dans notre hypothèse, doit résulter de la position des stations par rapport à la ligne centrale.

Les observations faites par les autres astronomes, allemands ou anglais, réunis en Espagne le 18 juillet conduisent à des conséquences identiques. Après cette éclipse on pouvait donc considérer comme parfaitement démontré que les protubérances lumineuses ont leur siége dans le Soleil.

Cette dernière opinion résultait du reste pour certains astronomes de l'aspect seul des protubérances. Dans une note du R. P. Secchi publiée par les Comptes rendus le 30 juillet 1860, nous remarquons en effet les lignes suivantes : « Dans ces moments-là (pendant l'observation), ma conviction sur la nature de ce que je voyais fut que le phénomène était réel et que je voyais vraiment

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 3 août 1868.

des flammes dans l'atmosphère solaire et des nuages suspendus dans ces flammes ; il m'aurait été impossible d'imaginer autre chose, comme par exemple que cela pût être un phénomène quelconque de diffraction. »

M. Le Verrier concluait comme le P. Secchi et imprimait dès le 2 août, dans un rapport adressé à M. Rouland : « Nous donnerons donc désormais le nom de nuages solaires aux appendices roses qui deviennent visibles quand la lumière du Soleil est suffisamment éteinte. »

Il ne faut pas croire cependant que l'opinion de l'existence réelle des protubérances fût admise par tous les astronomes. Les Comptes rendus des six derniers mois de 1860 renferment de nombreuses communications de M. Plantamour et surtout de M. Faye, dans lesquelles leurs auteurs s'efforcent de démontrer que les protubérances roses n'ont aucune existence réelle et sont dues à un effet de diffraction sur les bords de la Lune.

Notons pour terminer le résumé de nos connaissances à cette époque que, d'après le témoignage de tous les observateurs, les protubérances les plus lumineuses s'aperçoivent souvent deux ou trois minutes avant le commencement de la totalité et persistent un temps à peu près égal après la réapparition du Soleil. Le phénomène est d'ailleurs d'autant plus sensible que l'instrument dont on fait usage a une ouverture plus grande.

III

ÉCLIPSE DU 18 AOUT 1868.

Les observations de 1860 suffisent bien à démontrer que les protubérances lumineuses sont des appendices du Soleil, mais elles laissent intacte la question de savoir quelle est la nature intime de ces expansions. Faut-il y voir des montagnes, des nuages, des flammes incandescentes ?

L'éclipse du 18 août réalisait des conditions très-favorables à l'étude de toutes ces questions physiques. La Lune était à cette époque très-voisine de son périgée (à 6 h. seulement) et la terre encore fort éloignée du Soleil. Ces deux conditions, dont la première augmente dans une grande proportion le diamètre apparent

de la Lune, tandis que la seconde diminue celui du Soleil, avaient porté le maximum de durée de l'éclipse au temps *énorme* de $6^m 47^s$[1]. Et quand il s'agit de phénomènes d'une aussi courte durée, une minute de plus, la dernière surtout, est bien souvent l'occasion d'une importante découverte.

D'un autre côté les idées des astronomes s'étaient bien modifiées depuis 1860. Les recherches de MM. Kirchhoff et Bunsen, de M. Foucault ayant démontré l'existence d'une atmosphère solaire considérable, rendaient ainsi bien probable que les protubérances sont des matières gazeuses, des nuages ou des flammes ; dans les publications récentes de MM. R. Stoney et Norman Lockyer sur la constitution du Soleil, elles sont presque toujours désignées par l'expression de flammes rouges (*red flammes*). Ces mots ne doivent d'ailleurs être pris que comme l'expression d'une hypothèse qu'aucune observation directe n'était encore venue vérifier.

L'examen spectroscopique de ces appendices devait lever une partie de ces incertitudes. Si les protubérances sont des flammes incandescentes, comme elles sont situées à une grande hauteur dans l'atmosphère solaire, la lumière qu'elles émettent n'ayant à subir que l'absorption d'une mince couche de gaz devra conserver les caractères de celle d'une flamme incandescente et donner un spectre discontinu formé de lignes brillantes. Si au contraire les protubérances sont des nuages éclairés par la lumière du soleil, le spectre de ces appendices présentera les lignes noires de Frauenhofer.

C'est sous l'empire de ces idées, dans le but spécial de recherches spectroscopiques, que se sont formées les expéditions qui en août dernier ont été envoyées pour l'observation du phénomène.

La ligne centrale de l'éclipse totale du 18 août s'étendait de l'entrée de la mer Rouge au détroit Torrés, dans la Nouvelle-Guinée du Sud, en traversant la portion sud de l'Arabie, l'Inde anglaise, la presqu'île de Malacca, l'extrémité de la Cochinchine, Bornéo et les Célèbes. Dans toute cette région, souffle au mois d'août la mous-

[1] La durée d'une éclipse totale ne peut dépasser $7^m 8^s$.
La prochaine éclipse totale qui aura lieu le 7 août 1869 et sera visible dans l'Amérique russe et aux États-Unis, durera au maximum $3^m 49^s$; celle du 21-22 décembre 1870, que l'on pourra observer dans le sud du Portugal, à Oran, au sud d'Alger, à Syracuse, en Grèce, à Constantinople, aura une durée qui ne dépassera pas $2^m 13^s$.

son de S. O. et le ciel y est presque toujours chargé de gros nuages qui apportent des grains fréquents. Les conditions météorologiques n'étaient donc point favorables, et il a fallu quelque courage aux Européens qui ont entrepris le voyage des Indes avec la possibilité de se trouver en face d'un ciel couvert et par conséquent de ne pouvoir faire aucune observation.

Pour parer autant que possible à ces éventualités défavorables et ne pas perdre l'occasion de donner à l'astronomie des résultats importants, les astronomes se sont échelonnés depuis Aden jusqu'à la Nouvelle-Guinée.

L'expédition autrichienne composée de MM. Ed. Weiss, Th. Oppolzer et Rizha, lieutenant de vaisseau, s'est fixée à Aden en compagnie du docteur Vogel, de Berlin.

Les Anglais se sont établis dans le centre et sur le versant est de l'Inde, dans les environs de Mazulipatam. Sur ce dernier point ils ont été rejoints dans les derniers jours de juillet par M. Janssen, envoyé en mission par l'Académie des sciences et le Bureau des longitudes.

Les astronomes de l'Observatoire de Paris se sont établis dans le royaume de Siam, sur la côte est de la presqu'île de Malacca, à une soixantaine de lieues de Bangkock.

Enfin M. Oudemans, directeur de l'Observatoire de Batavia, s'est rendu à Manao, dans les Célèbes.

A Aden l'éclipse avait lieu au lever du Soleil et durait seulement $3^m 30^s$. Si nous en jugeons par la note publiée dans les *Astronomische Nachrichten* (5 octobre 1868) par M. E. Weiss, les astronomes contrariés par un horizon brumeux et chargé de quelques nuages, se sont bornés à des mesures de la position et de la grandeur des protubérances et à des études d'analyse spectrale qui ne paraissent pas avoir donné des résultats bien nets. De son côté, le docteur Vogel a obtenu trois photographies dont une très-faible, la seconde convenable et la troisième tout à fait bonne.

Dans l'Inde anglaise où le phénomène durait $5^m 30^s$ environ, les observateurs formaient deux groupes principaux : le premier sous la direction du lieutenant Herschel, était établi à Samkhandi ; le second, formé sous celle du major Tennant, directeur du service de la triangulation de l'Inde, avait pour station Guntoor. En ce dernier point s'était aussi établi M. Janssen.

Le lieutenant Herschel avait à sa disposition une lunette de

$0^m,13$ d'ouverture, munie d'un spectroscope à lentille cylindrique intérieure et à fente. Un exercice de plusieurs mois avait rendu cet astronome familier avec la manœuvre de son appareil ; nous résumons ici, d'après une lettre adressée à M. Huygins le 25 août, les principaux résultats de ses observations.

Environ un quart de minute avant la totalité, un épais nuage obscurcit le soleil. L'éclipse était complète depuis quelques secondes lorsque le nuage ayant dépassé la Lune, on aperçut une protubérance dont l'image fut à l'instant, par un mouvement rapide de la lunette, amenée sur la fente du spectroscope. Immédiatement, d'un seul coup d'œil le lieutenant Herschel vit *trois lignes brillantes* (rouge, orange et bleu) sans aucune trace de spectre continu. « Le problème de la nature des protubérances était donc, dit-il, en grande partie résolu : je pense qu'en cet instant j'étais un peu ému, car je criai à mon secrétaire, rouge, vert, jaune, pensant dire orange et bleu. » Plus loin, dans son récit, le jeune astronome s'écrie : « Je n'aurais jamais pensé que cinq minutes pouvaient passer si vite. » Après quelques hésitations, le lieutenant Herschel se mit aux mesures et malgré des nuages qui, en passant devant le Soleil, rendaient par instant les lignes invisibles, il reconnut que les trois lignes brillantes avaient les positions suivantes :

La ligne rouge est certainement située entre B et C, probablement au voisinage de C.

La ligne orangée se trouve un peu plus réfrangible que D.

La ligne bleue est de 1 ou 2 degrés avant F.

La longueur de ces trois lignes était en rapport avec la hauteur des protubérances.

A Guntoor, le major Tennant, disposant d'une forte lunette armée d'un spectroscope identique à ceux d'Huygins, a pu voir dans le spectre des protubérances cinq lignes brillantes voisines des raies solaires C, D, E, F et G, mais il semble qu'aucune mesure n'ait été faite.

Dans la même station de Guntoor, le major Tennant a obtenu plusieurs bonnes photographies de l'éclipse.

M. Janssen a été longtemps très-sobre de détails sur ses observations. Au 1er décembre on n'avait encore reçu de lui qu'une dépêche télégraphique de quelques mots où il annonçait que « les « protubérances sont de nature gazeuse et donnent un spectre

« très-remarquable et inattendu[1], » puis une note[2] où il ajoutait que les protubérances sont principalement composées d'hydrogène incandescent. Le *Moniteur universel* du 2 décembre contient enfin un rapport étendu de M. Janssen, et c'est cette pièce que nous allons analyser.

Le ciel ne sembla pas d'abord devoir favoriser les observateurs de Guntoor ; il pleuvait depuis longtemps sur toute la côte. Bien heureusement le temps se remit peu à peu avant le 18. Ce jour-là le soleil brilla dès son lever, et à l'heure du commencement de l'éclipse il était dans tout son éclat.

L'observation des cornes ne présenta aucune particularité nouvelle ; mais l'obscurité ayant eu lieu, tout à coup les phénomènes spectraux changèrent d'une manière bien remarquable.

« Deux spectres[3] formés de cinq ou six lignes très-brillantes, rouge, jaune, verte, bleue, violette, occupent le champ spectral et remplacent l'image prismatique solaire qui vient de disparaître. Ces spectres, hauts d'environ une minute, se correspondent raie pour raie, ils sont séparés par un espace obscur où je ne distingue aucune raie brillante sensible.

« Le chercheur montre que ces deux spectres sont dus à deux magnifiques protubérances qui brillent maintenant à droite et à gauche de la ligne des contacts où vient d'avoir eu lieu l'extinction. L'une d'elles surtout, celle de gauche, est d'une hauteur de plus de trois minutes ; elle rappelle la flamme d'un feu de forge sortant avec force des ouvertures du combustible, poussée par la violence du vent. La protubérance de droite (bord occidental) présente l'apparence d'un massif de montagnes neigeuses dont la base reposerait sur le limbe de la Lune, et qui seraient éclairées par un Soleil couchant.

« L'observation précédente montre immédiatement :

« 1° La nature gazeuse des protubérances (raies spectrales brillantes) ;

[2] *Comptes rendus*, 24 août 1868.

[2] *Comptes rendus* du 26 octobre.

[3] Dans l'appareil de M. Janssen, la fente du spectroscope était maintenue tangente à la portion du disque lunaire qui allait éteindre les derniers rayons solaires : c'est à l'apparition fortuite de deux protubérances très-voisines et presque situées sur l'équateur solaire que ce physicien doit d'avoir vu réuni dans le champ d'un seul instrument le spectre de deux protubérances.

« 2° La similitude générale de leur composition chimique (spectres se correspondant raie pour raie) ;

« 3° Leur espèce chimique (les raies rouge et bleue de leur spectre n'étaient autres que les raies C et F du spectre solaire, caractérisant, comme on sait, le gaz hydrogène). »

L'expédition de l'Observatoire de Paris, formée par les soins de S. Exc. le ministre de l'instruction publique, comprenait M. Stephan, directeur de l'Observatoire de Marseille, M. Tisserand, de l'Observatoire de Paris, M. Chabirand, lieutenant de vaisseau et moi-même. Elle s'augmenta à Singapour de M. Olry, chef d'état-major du gouverneur de la Cochinchine. — La station choisie se trouvait sur la côte est de la presqu'île de Malacca par 11° 42′ de latitude nord, en un point nommé Wah-Tonne qu'il serait inutile de chercher sur les cartes, car, avant notre arrivée, cette côte, qui ne possède pas d'eau potable, était absolument déserte. Dans cette région l'éclipse atteignait une durée de $6^m\ 47^s$, une minute de plus que dans l'Inde anglaise ; si donc le ciel nous était favorable nous devions être témoins d'un phénomène splendide.

Le 25 juillet, le transport mixte *la Sarthe*, commandé par le baron Letourneur Hugon, déposait le commission sur la plage. Notre campement était établi sur une dune de sable, dirigée du N. N. E. au S. S. O., et limitée d'une part par les eaux du golfe de Siam, de l'autre, par une forêt marécageuse et presque impénétrable.

Ce n'était pas cependant la végétation tropicale avec l'exubérance de vie qui lui donne un charme si vif. A Wah-Tonne, sur un sol formé de sable marin et de débris granitiques empruntés aux montagnes qui forment l'arête de la presqu'île, les arbres étaient d'une végétation chétive : sans doute quelques-uns d'entre eux atteignaient une grande hauteur, mais aux rugosités de leur tronc il était visible que leur croissance avait été lente, aussi lente que sur les montagnes de France. Plus d'une fois il nous est venu à l'esprit de comparer cette forêt aux taillis si fréquents dans nos départements du centre. Des aigles pêcheurs, de nombreuses tourterelles, quelques pigeons, sont à peu près les seules espèces d'oiseau que nous ayons rencontrées. Dans notre séjour de près d'un mois je n'ai d'ailleurs aperçu aucun serpent ni au-

cun gros gibier. L'absence d'eau potable a-t-elle chassé de ce canton les animaux comme les hommes?

Quant à notre habitation particulière, c'était un vaste corps de logis de 80 mètres de long sur 10 de large et 15 de haut; il renfermait vingt chambres, et avec sa vérandah ouverte sur la mer, je puis assurer qu'il ne faisait pas mauvaise figure dans le paysage. Construite en entier en bambou et en rotin, cette maison, dans laquelle il n'entrait pas un seul clou, avait été fabriquée, en quelques jours, par des ouvriers indigènes mis à notre disposition par le roi de Siam. Tout autour, en guise de fortification, s'étendait une palissade en menues branches vertes, haute de un mètre environ.

M. Hatt, ingénieur hydrographe à Saïgon, nous avait précédé de plusieurs semaines et par ses soins les charpentiers de la canonière *le Frêlon* avaient installé des cabanes en planche dans lesquelles nous pûmes, dès notre arrivée placer une lunette équatoriale de 6 pouces et un instrument méridien. Nous dûmes encore faire construire une cabane pour des instruments magnétiques et des abris pour des télescopes Foucault de 40 et de 20 centimètres d'ouverture. Tous les appareils étaient en place dès le 10 ou le 12 août.

Le 14 août, le roi de Siam, qui se piquait fort d'astronomie, vint s'établir à 1 kilomètre environ au nord de nous; son astronome royal avait apporté quelques belles lunettes anglaises: aussi le jour de l'éclipse avons-nous vu chaque contact salué par un coup de canon dont sa majesté donnait le signal. Pour être véridique, je dois dire que nous avions communiqué l'heure des contacts à l'astronome royal, et réglé une des montres du roi.

Les premiers jours d'août furent employés, par MM. Stephan, Tisserand, Olry et Hatt, à déterminer la latitude et la longitude de notre station, et par moi, à mesurer les éléments magnétiques.

Le temps ne présageait rien de bon; de gros nuages poussés par la mousson de S. O. venaient à chaque instant s'accumuler sur la montagne de Kow-Luang, à quelques milles dans l'ouest, et de là s'étendaient sur tout notre zénith. Nous avions cependant remarqué que les grains, très-fréquents dans cette saison, se produisaient surtout dans l'après-midi et qu'une éclaircie avait lieu souvent vers onze heures et demie, c'est-à-dire au moment de l'éclipse.

Le 18 août arrive enfin. Le soleil se lève dans un ciel relativement pur, et l'ouest n'est pas trop chargé ; cependant quelques nuages traversent l'atmosphère. A neuf heures le temps était inquiétant, le Soleil avait disparu derrière de gros nimbus chargés de pluie. Le premier contact fut invisible, et le temps devenait toujours plus mauvais. Un instant nous croyons tout perdu, car l'éclipse était déjà fort avancée. Cependant une éclaircie se montre dans l'ouest, elle monte lentement vers le soleil, et bien certainement, nous l'accompagnons de tous nos vœux. Dix minutes avant la totalité le Soleil brille dans une région sans nuages et le ciel ne se recouvre qu'après le troisième contact.

Les contacts furent observés par MM. Stéphan, Tisserand et Hatt, et dans l'intervalle ces messieurs mesurèrent la position et la hauteur des protubérances. Pendant ce temps, M. Olry faisait un magnifique dessin colorié de l'aspect général du phénomène.

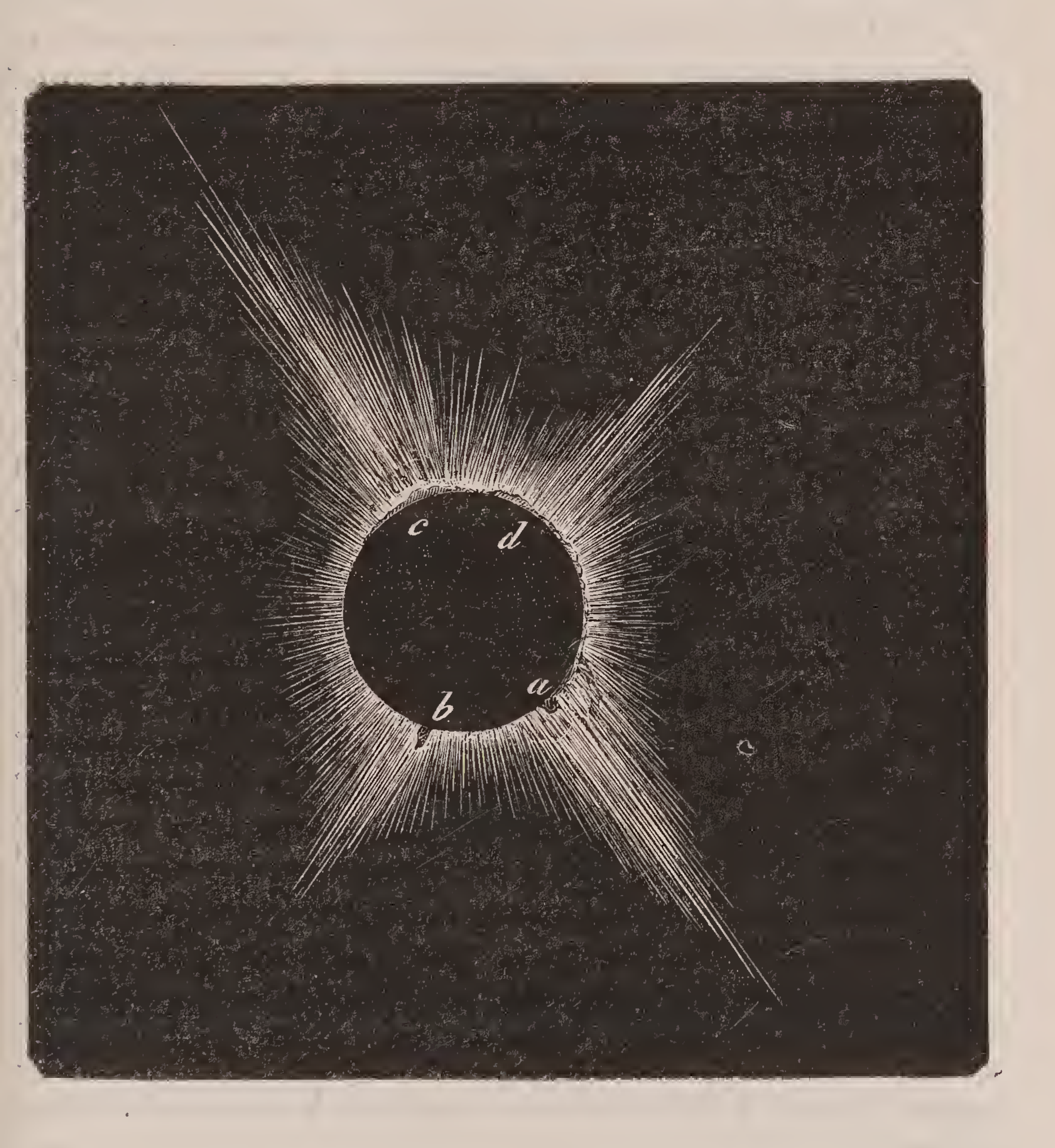
« Dans le grand télescope, dit M. Stephan[1], les protubérances se présentaient avec une admirable netteté ; il y en avait quatre groupes, disposés comme l'indique la figure ci-jointe ; leur couleur ne saurait être mieux comparée qu'à celle d'un corail rose légèrement teinté de violet ; toutes semblaient attachées par une base parfaitement nette et non point flotter à une certaine distance de la Lune comme cela avait été vu en 1851 et 1860. La protubérance *b* n'avait pas une longueur moindre que la dixième partie du diamètre lunaire[2] ; les protubérances *a* et *c*, presque diamétralement opposées, étaient dentelées ; en *d* était un large groupe d'aspect floconneux.

« Le deuxième contact ne fut pas suivi d'une disparition brusque de toute lumière vive ; après la disparition du bord du Soleil la Lune parut encore, à M. Tisserand et à moi, comme bordée d'un contour lumineux peu épais, un quart de minute environ, d'un éclat presque comparable à celui du Soleil ; cet anneau est tellement brillant qu'il peut induire en erreur sur l'instant véritable du contact. Il réapparut quelques secondes avant le troisième contact. Ainsi le globe du Soleil proprement dit semblerait entouré d'une mince couche diaphane extrêmement brillante.

[1] Rapport au ministre de l'instruction publique. — *Moniteur* du 11 octobre 1868.

[2] Cette mesure lui donne une hauteur d'au moins 34,000 lieues.

Au delà on remarquait la couronne et les gloires avec leur aspect ordinaire. »



Quant à moi, je suivais avec un spectroscope à vision directe, monté sur le télescope de 20 centimètres, les changements qui pourraient survenir dans le spectre. La lumière des cornes, quoique émise très-obliquement par les bords du Soleil, m'a semblé identique à la lumière solaire ordinaire, mais peut-être cela provient-il de ce que mon examen a été interrompu quelques instants avant le commencement de la totalité. Dans le vague des renseignements que j'avais pu réunir sur le degré d'intensité de la lumière des protubérances, je croyais nécessaire d'ouvrir un peu la fente de mon spectroscope, et c'est le temps indispensable à cette

opération qui a dû être pris sur celui destiné à l'observation du spectre des cornes.

Dès l'instant de l'obscurité totale, je portai rapidement la fente du spectroscope sur l'image de la longue protubérance en forme de corne de corail qui venait de se montrer sur le bord oriental du Soleil. Du premier coup d'œil je distinguai des lignes brillantes, très-brillantes même, se détachant sur un fond gris cendré. Je poussai un cri de joie. L'expédition française ne rentrerait pas en Europe sans apporter un résultat saillant, puisque je venais de constater que les protubérances étaient formées d'un gaz incandescent; il y avait aussi en moi l'émotion bien naturelle à celui qui voit se vérifier un résultat qu'il espérait.

Voici, du reste le récit de mon observation, tel qu'il a été publié le 12 octobre dans les *Comptes rendus de l'Académie.*

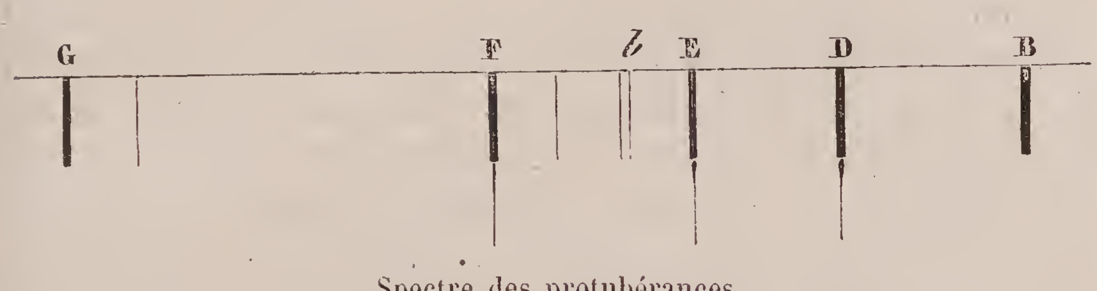
« Dès l'instant de l'obscurité totale la fente du spectroscope ayant été porté sur l'image de la longue protubérance en forme de corne qui venait de se montrer sur le bord oriental du Soleil, je vis immédiatement une série de neuf lignes brillantes qui, d'après leur disposition dans le champ, leur espacement relatif, leur couleur, et enfin, par la physionomie même de leur ensemble, me semblent devoir être assimilées aux lignes principales du spectre solaire B, D, E, *b*, une ligne inconnue, F, et deux lignes du groupe G. Ces lignes présentaient un très-grand éclat, et se détachaient vivement sur un fond gris cendré très-pâle.

« Les protubérances sont donc des jets d'une matière gazeuse incandescente, les flammes d'un phénomène chimique d'une puissance extrême. Il faut aussi remarquer que la lumière de la couronne est très-faible par rapport à celle des protubérances; car, tandis que la lumière de ces dernières donnait un spectre très-vif, la première, malgré l'ouverture assez grande de la fente, ne donnait aucun spectre coloré sensible.

« Pendant les observations précédentes, la fente du spectroscope était parallèle à la grande longueur de la protubérance; aussi voyait-on dans l'appareil des lignes lumineuses de hauteur sensible en rapport avec la hauteur de la protubérance. La fente ayant été tournée de 90°, les raies se sont trouvées réduites à l'apparence de points brillants, ou du moins de lignes très-courtes, répondant à la faible largeur de la corne lumineuse. Il n'y a donc pas d'erreur

d'observation possible, les lignes brillantes représentent bien le spectre de la lumière des protubérances.

« Le spectroscope étant dans la première position (fente parallèle à la hauteur de la protubérance), les lignes très-vives, assimilées à D, E et F se prolongeaient au delà de la longueur moyenne par un trait lumineux très-faible ; le spectre présentait dans son ensemble l'apparence reproduite dans le dessin ci-joint.



Spectre des protubérances.

Une certaine portion de la matière gazeuse incandescente, qui forme les protubérances, se répand donc dans l'atmosphère solaire, au delà des limites que l'œil assigne en général à ces opérations.

« L'examen de cette première protubérance étant terminé, j'ai mis la fente sur la grande région lumineuse qui était à l'occident du Soleil. Le spectre s'est, cette fois encore, montré formé de lignes brillantes, disposées comme dans le premier cas, seulement je n'ai vu qu'une seule ligne violette. Toutes les protubérances ne semblent donc point émettre une lumière identique.

« M. Hatt, qui observait en un autre point de notre station, a également constaté l'existence des lignes brillantes. »

Un fait bien acquis, constaté par tous les observateurs, est que le spectre de la lumière des protubérances est formé de quelques lignes brillantes, et que ces appendices sont composés d'un gaz incandescent ; mais si l'on va plus loin, si on compare les résultats des diverses observations, on reconnaît des différences notables. Le lieutenant Herschel trouve *trois* raies, le major Tennant *cinq*, M. Janssen *cinq* ou *six*, et moi j'ai constaté l'existence de *neuf*. Aucun de nous n'a certainement commis une erreur et les descriptions sont bien le récit exact du phénomène que nous avons eu sous les yeux ; mais nous avons fait usage d'instruments d'un pouvoir optique différent, et surtout l'éclipse était

loin de donner dans chaque station le même degré d'obscurité.

La lunette du lieutenant Herschel n'avait que 13 centimètres d'ouverture et pour lui l'éclipse durait seulement 5^m30^s; donc faible lunette et obscurité relativement peu intense. Pour M. Janssen, la lunette était plus puissante et l'éclipse durant quelques secondes de plus que pour le lieutenant Herschel l'obscurité a dû être plus grande ; aussi, ce physicien a-t-il constaté l'existence de cinq ou six lignes brillantes. Dans la presqu'île de Malacca, la durée de l'éclipse s'élevait à 6^m47^s et l'obscurité a été très-grande; d'autre part, je faisais usage d'un télescope (non plus d'une lunette) de 20 centimètres d'ouverture et d'un spectroscope peu dispersif; j'étais donc dans de très-bonnes conditions, et quoique favorisé d'un moins beau ciel que les astronomes de Guntoor, j'ai pu voir neuf lignes brillantes; les cinq grosses, signalées par M. Janssen dans le rouge, le jaune, le vert, le bleu, le violet, plus quatre autres lignes plus fines que l'éclat du champ spectral aura, sans doute, empêché de distinguer dans les autres stations.

Quant à la position des lignes, il n'en est que deux dont la place exacte ait été déterminée pendant l'éclipse, ce sont les lignes D et F ; pour les autres il n'y a qu'une simple estime, et de petites divergences sont parfaitement admissibles.

IV

OBSERVATION DU SPECTRE DES PROTUBÉRANCES EN DEHORS DES ÉCLIPSES TOTALES.

L'existence de lignes brillantes dans le spectre des protubérances a inspiré à deux astronomes, M. N. Lockyer et M. Janssen, une méthode qui permet de constater l'existence de ces appendices lumineux sur les bords du Soleil sans attendre l'événement d'une éclipse totale. Ce sont les premiers résultats de ces recherches qu'il nous reste à exposer.

M. Norman Lockyer à publié, il y a deux ans, dans les *Procee-*

dings de la Société royale de Londres [1] le résumé d'une longue étude sur la constitution physique du Soleil. Le but que s'était proposé l'astronome anglais était de rechercher si, par le moyen de l'analyse spectrale, on ne pourrait pas déterminer le sens des courants gazeux qui produisent les facules et les taches. Pour cela il formait, à l'aide d'une lunette complète, ayant son oculaire positif un peu tiré, une image du Soleil et dans le plan de cette image, là où il y avait des facules ou bien des taches, il portait la fente très-étroite et très-courte d'un spectroscope à vision directe : par cet artifice il arrivait à examiner séparément la lumière émise par les facules ou celle rayonnée par les taches. Cette étude ne le conduisit à aucun résultat bien saillant, mais il ajoute, en terminant sa communication, quelques réflexions remarquables. Nous traduisons le texte anglais. « Depuis que l'analyse spectrale a été appliquée avec autant de succès à l'étude des étoiles, il est permis de penser qu'une étude spectroscopique *détaillée* et attentive de la surface du Soleil nous donnera de nouvelles connaissances sur la constitution physique de cet astre. Par exemple, si la théorie de l'absorption est exacte, nous devons supposer que, dans la lumière d'une tache profonde, il doit y avoir absorption de certains rayons qui ne sont pas absorbés par les hautes régions de l'atmosphère ; le degré d'intensité d'une raie noire dépend, en effet, de l'épaisseur de la couche absorbante. N'est-il pas possible que certaines lignes variables du spectre solaire aient pour cause une absorption dans la région des taches ? Et ne serait-il pas possible que le spectroscope rendît évidente l'existence des *flammes rouges* que les éclipses nous enseignent exister dans l'atmosphère solaire, quoique ces appendices échappent en temps ordinaire à toutes les autres méthodes d'observation ? S'il en est ainsi, n'apprendrons-nous pas quelque chose sur la récente apparition d'une étoile dans la couronne. »

Pendant près de deux ans, M. N. Lockyer a cherché dans le spectre de la lumière des bords du Soleil une modification prouvant l'existence des protubérances, et jamais il n'était arrivé à rien saisir. Enfin, le 20 octobre dernier, sachant, par la note que j'avais publiée le 12 dans les *Comptes rendus*, quelles étaient les lignes brillantes des protubérances, M. N. Lockyer saisit pres-

[1] *Proceedings of the Royal Society*, vol. XV, n° 87. — 15 novembre 1866.

que immédiatement l'existence des lignes C, D et F, dans le spectre d'une région limitée des bords du Soleil. « Avec une fente étroite, les raies ont été vues jusqu'à une petite distance *sur la surface même du Soleil*. C est de beaucoup la plus brillante, et madame Lockyer a pu l'apercevoir sans difficulté. Les raies se prolongeaient, à des hauteurs différentes, au delà des bords du Soleil, la rouge était la plus courte. J'ai même pu me rendre compte de la forme de la protubérance [1]. »

Le jour où l'Académie recevait, par M. Warren de la Rue, communication de la découverte de M. Lockyer, son président lisait une lettre de M. Janssen, en date du 19 septembre, dans laquelle ce physicien annonçait, sans aucune explication, qu'il avait fait le 19 août, dès le lendemain de l'éclipse, une observation semblable à celle de l'astronome anglais [2]. Nous extrayons du *Moniteur* du 2 décembre les détails de l'observation de M. Janssen.

« Pendant l'obscurité totale, je fus extrêmement frappé du vif éclat des raies protubérantielles. La pensée me vint aussitôt qu'il serait possible de les voir en dehors des éclipses ; malheureusement le temps, qui se couvrit après le dernier contact, ne me permit de rien tenter pour ce jour-là. Pendant la nuit, la méthode et les moyens d'exécution se formulèrent nettement dans mon esprit. Le lendemain, 19, je fis tout disposer pour les nouvelles observations.

« Voici comment je procédai. Par le moyen du chercheur, je plaçai la fente du spectroscope sur le bord du disque solaire dans les régions mêmes où la veille j'avais observé les protubérances lumineuses.

« Cette fente, placée en partie sur le disque solaire et en partie en dehors, donnait par conséquent deux spectres, celui du Soleil et celui de la région protubérantielle. L'éclat du spectre solaire était une grande difficulté ; je la tournai en masquant dans le spectre solaire le jaune, le vert et le bleu, les portions les plus brillantes. Toute mon attention était dirigée sur la ligne C, obscure pour le

[1] N. Lockyer, *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, 26 octobre 1868.

[2] Si la priorité de l'idée d'observer les protubérances solaires en dehors des éclipses appartient à M. V. Lockyer, M. Janssen est incontestablement le premier à avoir obtenu le résultat cherché infructueusement par l'astronome anglais depuis 1866.

soleil, brillante pour la protubérance, et qui, répondant à une partie moins lumineuse du spectre, devait être beaucoup plus facilement perceptible.

« J'étais depuis un peu de temps à étudier la région protubérantielle du bord occidental, quand j'aperçus tout à coup une petite raie rouge, brillante, de une à deux minutes de hauteur, formant le prolongement rigoureux de la raie obscure C du spectre solaire. En faisant mouvoir la fente du spectroscope de manière à balayer méthodiquement la région que j'explorais, cette ligne persistait, mais elle se modifiait dans sa longueur et dans l'éclat de ses diverses parties, accusant ainsi une grande variabilité dans la hauteur et dans le pouvoir lumineux des diverses régions de la protubérance. Peu après je constatai que la raie brillante F se montrait en même temps que C. »

Les jours suivants M. Janssen vérifia de nouveau la coïncidence exacte des lignes brillantes C et F du spectre des protubérances avec les raies noires correspondantes du spectre solaire, et par l'étude de la longueur des lignes brillantes il put, jusqu'à un certain point, tracer la forme des protubérances. Voici, du reste, les conclusions générales du rapport du physicien français :

1° Les protubérances lumineuses observées pendant les éclipses totales appartiennent incontestablement aux régions circumsolaires ;

2° Ces corps sont formés d'hydrogène incandescent et ce gaz y prédomine, s'il n'en forme la composition exclusive ;

3° Ces corps circumsolaires sont le siége de mouvements dont aucun phénomène terrrestre ne peut donner une idée, des amas de matière dont le volume est plusieurs centaines de fois plus grand que celui de la terre se déplaçant et changeant complétement de forme dans l'espace de quelques minutes.

Depuis la communication de M. N. Lockyer à notre Académie, le spectre des protubérances a été vu par le R. P. Secchi qui y distingue les lignes C, F et une ligne un peu plus réfrangible que D [1]. Enfin, en perfectionnant les instruments et les méthodes d'observation, M. Lockyer est parvenu à montrer que sur toute la surface du Soleil il y avait une couche gazeuse incandescente, très-probablement la photosphère lumineuse vue par

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*; 9 novembre 1868.

M. Stephan, et que les protubérances étaient les accumulations partielles de cette matière.

Les expériences récentes de M. Frankland (*Comptes rendus* du 12 octobre 1868) conduisent d'ailleurs à une interprétation très-rationnelle de toutes ces observations. Le chimiste anglais montre que le pouvoir éclairant d'une flamme, par exemple celle de l'hydrogène brûlant dans l'oxygène, dépend de la température de la flamme et surtout de la pression des gaz qui brûlent. « L'apparence d'un jet d'hydrogène brûlant dans l'oxygène sous la pression atmosphérique ordinaire est bien connue. En portant la pression à deux atmosphères, l'éclat précédemment faible est très-visiblement augmenté, tandis qu'à dix atmosphères de pression la lumière émise par un jet d'un pouce environ est suffisante pour permettre à l'observateur de lire un journal à une distance de deux pieds de la flamme, et cela sans qu'il y ait derrière la flamme aucune surface réfléchissante. Examiné au spectroscope, le spectre de cette flamme est brillant et parfaitement continu du rouge au violet. » A la surface du soleil la pression est certainement très-considérable, et si de l'hydrogène brûle dans ces conditions, sa flamme doit avoir un pouvoir éclairant suffisant pour faire croire à l'existence d'une photosphère lumineuse. Les variations du pouvoir éclairant et du spectre lumineux d'une flamme sont d'ailleurs un sujet sur lequel nous reviendrons avec détails lorsque les expériences de M. Frankland et les essais commencés par M. H.-S.-C. Deville auront conduit à de nouveaux résultats.

V

RÉSUMÉ.

Maintenant il est facile de mesurer d'un regard le pas considérable que nous avons fait dans la connaissance de la constitution physique du Soleil depuis le mois d'août dernier.

A cette époque, on pouvait encore nier, jusqu'à un certain point, que le Soleil fût enveloppé par une atmosphère gazeuse considérable. Aujourd'hui, les observations de MM. Stephan et Lockyer indiquent nettement qu'au delà de la couche qui forme pour nous la limite du Soleil, il y a une atmosphère incandescente

très-brillante et d'une faible épaisseur. Comme d'ailleurs les flammes ou les amas gazeux qui constituent les protubérances ne peuvent s'élever dans le vide, on nous accordera bien que le Soleil est environné de toute part d'une atmosphère dont la hauteur minimum, égale à la hauteur des protubérances, est de 3 minutes, soit environ du dixième du diamètre du Soleil, ou de 34,000 lieues de 4 kilomètres; c'est bien là une couche d'épaisseur suffisante pour produire dans les rayons lumineux émis par la masse centrale l'absorption élective qui a pour résultat les lignes noires du spectre solaire.

Cette atmosphère est généralement peu lumineuse ou même obscure; mais par instants, sous l'influence de causes dont nous ne saurions préciser la nature, une portion de la photosphère lumineuse inférieure s'élève dans cette atmosphère et forme les protubérances qui, nous le savons aujourd'hui, existent d'une manière constante sur la surface solaire. On peut même aller plus loin et établir une identité probable, sinon certaine, entre les protubérances et ces taches brillantes auxquelles les astronomes donnent le nom de facules. Nous trouvons les éléments de cette assimilation dans le mémoire écrit par M. Warren de la Rue sur l'éclipse de 1860, mémoire qui a paru dans les *Transactions philosophiques* de 1862. A la page 406 de ce volume on lit, en effet : « Deux photographies de la même tache solaire, faites à un intervalle suffisant pour que la rotation de l'astre ait amené un changement convenable de position, possèdent évidemment le pouvoir stéréoscopique. En les plaçant d'une manière convenable dans un stéréoscope, j'ai obtenu une vue stéréoscopique d'une tache solaire et de quelques facules environnantes, qui montre les diverses parties du dessin dans leur véritable position relative eu égard à l'altitude et aux autres conditions. J'ai, de cette manière, obtenu la certitude que les facules occupent la plus haute partie de la photosphère, les taches apparaissant comme des cavités [1] dans la pénombre, qui semble plus basse que les brillantes régions qui l'entourent. »

Les facules, parties brillantes et saillantes de la photosphère lumineuse, sont donc les protubérances.

[1] Le 16 novembre, M. Delaunay a mis sous les yeux de l'Académie une photographie du soleil par M. Warren de la Rue, qui indique l'existence d'un creux dans la photosphère au point correspondant à une tache.

La connaissance de la nature intime des protubérances, leur relation probable avec une des apparences du disque solaire, tel est le résultat des observations de l'éclipse totale d'août 1868. Quant aux phénomènes de l'auréole et des gloires, nous en demanderons l'explication aux éclipses futures.

G. RAYET.

II

NOUVELLES PETITES PLANÈTES.

Nous avons quinze nouvelles planètes télescopiques à enregistrer cette année, ou mieux à ajouter à celles que l'on comptait, il y a deux ans, à pareille époque, dans le groupe qui circule entre Jupiter et Mars. Nos prévisions se sont ainsi justifiées, à peu de chose près, du moins, et la remarque que nous faisions alors sur une apparente périodicité des maximums des découvertes nous semble devoir être maintenue [1]. L'année 1867 a fourni quatre planètes nouvelles, et l'année 1868 en a donné déjà onze, de sorte que l'époque du nouveau maximum se trouve reculée d'une année seulement. Il serait donc curieux de rechercher si toutes les planètes connues de l'anneau d'astéroïdes ne se distribuent pas dans l'espace par groupes, accusant l'existence de plusieurs anneaux séparés, et dès lors probablement une commune origine. En un mot, si l'on adopte l'hypothèse cosmogonique de Laplace sur l'origine du monde solaire, il est à peu près évident que toutes les planètes télescopiques situées entre Mars et Jupiter se sont formées par une multitude de condensations partielles de l'anneau nébuleux originaire ; mais il serait fort possible aussi que les noyaux planétaires, au lieu d'avoir été répartis régulièrement sur toute la périphérie de la nébulosité, aient formé des groupes séparés dans le groupe total : en traversant l'écliptique, ces groupes donneraient périodiquement aux astronomes qui

[1] Voir l'*Annuaire scientifique pour* 1867, page 46.

explorent cette région du ciel avec l'espérance de découvrir des planètes nouvelles, des occasions plus favorables ; d'où, une certaine périodicité dans le nombre des découvertes. Peut-être, cette périodicité, ainsi que nous l'avons fait observer déjà, est-elle à un certain degré l'effet du hasard, ou plutôt de l'assiduité plus ou moins régulière des chercheurs ; mais quoi qu'il en soit, nous pensons que l'étude de la distribution des planètes télescopiques par groupes est une question offrant de l'intérêt pour la constitution physique de notre monde solaire.

Mentionnons rapidement les nouvelles planètes, les époques de leurs découvertes, leurs noms, pour celles qui en ont reçu, enfin les noms des observateurs qui les ont vues pour la première fois.

La planète (92) *Undine*, a été trouvée le 7 juillet 1867, à l'observatoire d'Hamilton-College, à Clinton (New-York, États-Unis) par M. C. H. F. Peters. C'est une étoile de 10e à 11e grandeur.

Le 24 août suivant, la planète (93), de 11e grandeur, était découverte à l'observatoire d'Ann-Arbor (États-Unis), par M. Watson, qui en trouvait une autre le 6 septembre 1867, la planète (94), également de 11e grandeur.

Enfin, le 23 novembre de la même année, M. Luther a trouvé à son observatoire de Bilk, près Dusseldorf, la planète (95), de 10e à 11e grandeur ; il lui a donné le nom d'*Aréthuse*.

Tel est le contingent de l'année 1867.

En 1868, à l'époque où nous écrivons, c'est-à-dire le 11 novembre, il en a déjà été découvert onze, dont voici l'énumération.

Planète (96), 11e grandeur, trouvée à l'observatoire de Marseille, par M. Coggia, le 17 février 1868 ;

Planète (97) découverte à Marseille par M. Tempel, aussi le 17 février ; étoile de 10e à 11e grandeur ;

Planète (98), découverte à Clinton le 18 avril 1868, par M. Peters, 12e grandeur ;

Planète (99), de 13e à 14e grandeur, le 28 mai 1868, vue à Marseille par M. Borelli, qui déjà avait découvert la 91me ;

Planète (100), *Hécate*, trouvée à l'Observatoire d'Ann-Arbor le 11 juillet 1868, par M. Watson, et, indépendamment, le

14 juillet, à Clinton, par M. Peters, enfin le 17 juillet, à Marseille par M. Coggia ; 11e à 12e grandeur ;

Planète (101), *Hélène*, de 9e à 10e grandeur, découverte à Ann-Arbor le 15 août, par M. Watson ;

Planète (102), *Miriam*, de 11e à 12e grandeur, trouvée à Clinton, le 22 août par M. Peters ;

Planète (103), de 10e grandeur, vue le 7 septembre à Ann-Arbor, par M. Watson ;

Planète (104), de 11 à 12e grandeur, le 15 septembre à Ann-Arbor, par M. Watson ;

Planète (105), de 11e à 12e grandeur, le 16 septembre, par M. Watson ;

Enfin la planète (106) 10e grandeur, le 10 octobre 1868, encore découverte par le même astronome américain M. Watson.

Des six astronomes qui ont participé à ces recherches et à ces nombreuses découvertes, l'un, M. Luther, en est à sa dix-septième petite planète ; M. Watson, à sa neuvième, et cette seule année 1868 lui a donné l'occasion d'en trouver six ; M. Peters en est à sa neuvième, M. Tempel, à sa cinquième, enfin MM. Borelli et Coggia en ont trouvé chacun deux.

Sur les quinze planètes de ces deux années, onze ont été trouvées en Amérique ; les États-Unis veulent, il paraît, l'emporter, en ce point encore, sur la vieille Europe.

En résumé, voilà, pour ces petits astres, dont l'ensemble offre plus d'intérêt que chacun pris à part, la centaine dépassée : c'est bien de la besogne pour les géomètres qui en calculeront les éléments et les éphémérides, c'est bien de la besogne aussi pour les observatoires qui, comme ceux de Paris et de Greenwich, se sont astreints à les observer régulièrement ; mais tant de travail et de zèle ne sera point stérile, et la connaissance plus complète de ce groupe de petits astres ne peut manquer de fournir un jour de précieuses données pour l'astronomie planétaire.

Amédée Guillemin.

III

PASSAGE DE MERCURE SUR LE SOLEIL.

La planète Mercure a passé sur le disque du Soleil le jeudi 5 novembre de cette année 1868. Avant de donner quelques détails sur les circonstances de ce phénomène et sur les observations qu'en ont faites divers astronomes, rappelons rapidement les données sur lesquelles repose la prédiction de ces passages, et insistons sur leur importance.

Mercure est la planète la plus rapprochée du Soleil, parmi celles du moins qu'on connaît aujourd'hui ; elle effectue autour de lui une révolution sidérale entière dans l'intervalle d'environ 88 jours, et sa distance moyenne au Soleil, exprimée en fonction de la moyenne distance de la Terre, prise pour unité, est le nombre 0,387. Son orbite est inclinée de 7° environ sur le plan de l'écliptique. Mercure est visible à l'œil nu, tantôt le matin avant le lever du Soleil, tantôt le soir avant son coucher ; mais les circonstances favorables à sa visibilité sont assez rares, parce que ses oscillations apparentes de part et d'autre du Soleil, à l'occident ou à l'orient de cet astre, ont une amplitude maximum qui ne dépasse pas 29° ; il est donc, dans une bonne partie de son parcours, plongé dans les rayons solaires, ou bien est assez voisin du Soleil, pour que l'éclat crépusculaire et les vapeurs de l'horizon empêchent de le distinguer.

La révolution synodique de Mercure, c'est-à-dire celle qui le ramène à la même position en longitude, relativement au Soleil et à la Terre, a une durée qui varie de 106 à 130 jours. C'est le temps que met la planète à accomplir une oscillation entière de part et d'autre du Soleil, ou à revenir à la même conjonction.

Maintenant, il est aisé de concevoir qu'aux époques où Mercure a même longitude que le Soleil, si la planète est en même temps à l'un de ses nœuds, c'est-à-dire si sa latitude est moindre que le demi-diamètre du disque solaire, elle sera masquée par ce disque ou bien se projettera au-devant de lui. C'est à ce dernier

phénomène qu'on donne le nom de passage, et c'est précisément un passage de ce genre qu'on a eu l'occasion d'observer cette année. Vénus, qui est aussi une planète inférieure, peut passer sur le Soleil comme Mercure ; mais ses passages, d'ailleurs beaucoup plus importants, sont aussi beaucoup plus rares.

Les passages de Mercure ont été calculés et annoncés pour la la première fois par Képler, mais les tables de ce grand homme n'étaient point assez parfaites, pour qu'il n'y eût pas des différences notables entre ses prédictions et les observations. Toutefois le passage qu'il annonça pour le 7 novembre 1631 fut observé par Gassendi.

Depuis, Halley, Delambre, reprirent les calculs de Képler, et le premier de ces savants détermina les périodes de retour des passages de Mercure, lesquelles sont de 6 à 7 ans, de 13, de 46 et de 263 ans. C'est toujours dans les mois de mai et de novembre que tombent les époques de ces phénomènes, parce que ce sont celles où Mercure arrive à l'un de ses nœuds. Dans la partie écoulée du dix-neuvième siècle, on a pu observer déjà 8 passages de Mercure, dont 2 ont eu lieu en mai 1832 et 1845, et 6 en novembre, dans les années 1802, 1815, 1822, 1835, 1848, 1861, sans compter celui du 5 novembre de cette année. Il y en aura encore 4, 2 en mai, 1878 et 1891, et 2 en novembre, 1881 et 1894.

Maintenant, quelle est l'importance des passages de Mercure? On peut et on doit l'envisager sous deux points de vue différents, selon qu'on en fait une question d'astronomie mathématique et théorique, ou bien une question d'astronomie physique.

Dans le premier cas, les instants précis des contacts internes ou externes du disque noir de Mercure et des bords du disque solaire, fournissent des éléments précieux pour la vérification des tables de la planète. Tout le monde sait que les tables et éphémérides planétaires, calculées d'après les formules de la théorie pure, et en tenant compte de toutes les causes de perturbation réciproque, laissent toujours à désirer, au point de vue de leur exactitude, quand on les compare avec les résultats de l'observation. Leurs perfectionnements sont possibles de deux manières, soit par l'introduction de termes jusque-là négligés dans les calculs : c'est alors un travail de la compétence exclusive des géomètres ; soit, par l'introduction de données plus complètes et plus précises,

tirées des registres des observatoires : c'est alors le fruit des travaux des astronomes observateurs.

Les tables de Mercure ont été, il y a quelques années, l'objet de ce double travail, dû à M. Le Verrier, qui trouva que les différences entre les observations antérieures des passages et les positions théoriques de la planète pouvaient s'expliquer par un mouvement séculaire de son périhélie, d'environ 38″. Une discussion très-vive s'engagea, il y a environ sept ans, c'est-à-dire en 1861, époque du dernier passage, entre le directeur de l'Observatoire et M. Delaunay. Le premier de ces savants considérait le mouvement en question comme ayant une réalité objective, et il en cherchait l'explication physique dans l'existence d'une masse troublante, d'une planète encore inconnue ou d'un anneau d'astéroïdes circulant entre Mercure et le Soleil. M. Delaunay, tout en reconnaissant que les tables de Mercure calculées par M. Le Verrier s'accordaient mieux que les tables anciennes avec les observations, considérait la correction de 38″ comme une correction purement empirique, non comme un mouvement séculaire réel du périhélie, d'où il suivait que la cause physique assignée par M. Le Verrier était, sinon imaginaire, du moins purement hypothétique.

Quoi qu'il en soit de ces dissidences, on comprend quelle est l'importance d'un phénomène dont l'observation est, comme les contacts de Mercure et du Soleil, à l'instant du passage, susceptible d'une précision plus grande que celle des observations méridiennes de la planète. Il s'agit de savoir s'il y aura, ou non, accord entre les heures déterminées d'avance par le calcul, et les heures obtenues en réalité par les observateurs. Voilà pour la question envisagée au point de vue théorique ou mathématique.

Maintenant, il y a un second point de vue, qui intéresse seulement l'astronomie physique, j'entends la détermination des éléments de la constitution physique de la planète Mercure. En premier lieu, la mesure de son diamètre, qui peut être mesuré directement par les méthodes micrométriques ou déduit de la durée qui s'écoule entre le contact extérieur et le contact intérieur des deux disques. Mercure est-il parfaitement sphérique, ou son aplatissement est-il trop faible pour être observé et mesuré?

Schrœter, pendant le passage de 1799, a cru voir autour du disque noir de la planète une large auréole nébuleuse qu'il con-

sidérait comme produite par une haute et dense atmosphère, absorbant la lumière du Soleil, atmosphère dont l'existence paraissait d'ailleurs confirmée par le contour mal terminé du bord intérieur du croissant pendant les phases. Telles sont quelques-unes des questions dont l'observation du passage pourrait donner la solution.

Malheureusement, cette année, les astronomes européens devaient être peu favorisés par les circonstances. En premier lieu, le phénomène ne pouvait être observé par eux que pendant sa seconde moitié. En effet, voici quelles étaient les heures de ses diverses phases, calculées pour le centre de la Terre, en temps moyen de Paris. Nous les empruntons à la *Connaissance des temps pour l'année* 1868 :

Entrée de Mercure sur le Soleil, contact externe	$17^h\ 33^m\ 59^s$
Moindre distance des centres, égale à 12′ 15″ 2	$19^h\ 23^m\ 12^s$
Sortie de Mercure, contact externe.	$21^h\ 12^m\ 20^s$
Demi-diamètre vrai de Mercure	4″9.

Les heures indiquées sont celles du 4 novembre 1868, comptées selon la coutume des astronomes, depuis 0^h ou midi, jusqu'à 24^h. En réalité, le phénomène commençait donc le 5 novembre à $5^h\ 33^m\ 59^s$ du matin. Or, ce jour-là, le Soleil ne se levait, à Paris, qu'à $6^h\ 55^m$, de sorte que l'entrée, les deux premiers contacts et une partie notable de la trajectoire de Mercure sur le disque du Soleil, ne pouvaient être observés. Mais, en revanche, on pouvait et on a pu observer la seconde moitié du phénomène, et surtout, chose importante, le second contact intérieur et la sortie.

Avant de transcrire les résultats des observations parvenues à notre connaissance, donnons les heures du phénomène calculées d'après les tables de M. Le Verrier, telles que les a publiées le *Bulletin hebdomadaire de l'Association scientifique de France :*

Entrée de Mercure	1er contact extérieur.	$5^h\ 34^m\ 26^s\ 6$
	1er contact intérieur.	$5^h\ 37^m\ 4\ 9$
Sortie de Mercure	2e contact intérieur.	$9^h\ 9^m\ 19\ 2$
	2e contact extérieur.	$9^h\ 11^m\ 57\ 6$

Il y a, comme on voit, une différence de $27^s,6$ entre l'heure du

premier contact, donnée par la *Connaissance des Temps*, et celle donnée par l'Observatoire de Paris; et, de même, une différence, mais en sens inverse, de $22^s,4$ entre les heures du dernier contact extérieur. Ajoutons que ces heures sont calculées pour le centre de la Terre, et qu'en réduisant à la station de Paris les heures calculées du second contact intérieur, le plus important et le plus aisé à déterminer, il faut ajouter $1^s,8$ au nombre correspondant. En résumé, les résultats immédiats des observations faites à Paris de ce second contact devraient être comparés à l'heure suivante :

$9^h\ 9^m\ 21^s,0$ d'après l'Observatoire

Voyons maintenant quels sont ces résultats :

Le passage de Mercure a été observé, à Paris, par MM. Rayet, André, Villarceau et Wolf; à Marseille, par MM. Stephan et Le Verrier; à Dunkerque, par M. Terquem.

Ces divers observateurs ont trouvé, pour l'heure du second contact intérieur, rapportée au temps moyen de Paris et au centre de la Terre :

MM. Rayet.	Paris	9^h	9^m	$17^s,6$
Le Verrier.	Marseille. . . .	9	9	18, 2
Terquem.	Dunkerque. . . .	9	9	19, 0
André.	Paris.	9	9	25, 5
Villarceau.	Paris.	9	9	27, 1
Wolf	Paris.	9	9	32, 0
Stephan	Marseille.	9	9	34, 3

L'heure calculée d'après les tables pour ce contact, étant de $9^h\ 9^m\ 19^s,2$, on voit que des sept temps observés trois lui sont inférieurs et quatre supérieurs. L'écart total s'élève à $16^s,7$. Selon M. Le Verrier, « il ne peut en aucune façon provenir d'une faute d'estime, et doit avoir une origine physique, qu'il importera de découvrir et de discuter avec soin. »

Voici les raisons que M. Le Verrier donne à l'appui de cette dernière opinion :

« M. Stone, dit-il, a reconnu que si la discussion des passages de Vénus sur le Soleil en 1769 avait conduit M. Encke à une parallaxe du Soleil inexacte, cela tenait à ce qu'on avait comparé des observations de l'entrée et de la sortie, rapportées à des instants physiques évidemment différents. La cause des discordances qui se manifestent ici doit être analogue ; et nous ajou-

tons qu'il est heureux que ce passage de Mercure nous serve d'avertissement avant le prochain passage de Vénus sur le Soleil en 1874. Car, si l'on n'avait pas soin de convenir, d'une façon très-précise, du phénomène physique à observer et de se mettre en garde contre ce fait, que les apparences ne semblent pas être les mêmes dans tous les instruments, on se trouverait, sans doute, après les observations de 1874, en présence des mêmes incertitudes qu'a laissées le passage de 1769.

« Pour se livrer à une discussion efficace de cette importante question, il conviendra de rapprocher les résultats obtenus dans tous les observatoires, et de réclamer de chacun des astronomes une description très-exacte du phénomène qu'il aura observé et dont il aura noté le temps. On sait que la plupart des observateurs des anciens passages ont signalé qu'au moment du contact interne pour la sortie, le disque noir de Mercure paraissait s'allonger subitement, pour constituer un contact instantané, et dont le temps était susceptible d'être observé avec la dernière exactitude. C'est dans ces conditions que le phénomène m'est personnellement apparu, de la manière la plus précise. Je ne saurais mieux le décrire qu'en disant qu'il s'est tout à coup établi comme un point noir, égal en largeur au quart du diamètre de la planète et dont la noirceur s'étendait jusque sur le fond du disque du Soleil. C'est ce phénomène qui, pour moi, n'a pas présenté une incertitude d'une demi-seconde de temps, que j'ai noté, et qui me paraît bien être celui qu'ont décrit les anciens astronomes, nos prédécesseurs. Il a été surtout considéré dans la construction des tables de Mercure, et c'est à lui que doit se rapporter la vérification de leur exactitude. »

Ajoutons une remarque importante : M. Stephan, qui observait avec le grand télescope Foucault à miroir de verre argenté, de $0^{m},80$ d'ouverture, n'a rien vu de pareil ; la rupture du filet lumineux compris entre le disque de Mercure et le bord du Soleil lui a paru néanmoins instantanée. M. Wolf n'a pas non plus observé le phénomène de la goutte ; il observait à l'équatorial à objectif argenté de l'Observatoire de Paris. Enfin les autres observateurs de Paris ont aussi vu Mercure toucher le bord du Soleil, en amincissant progressivement le filet de lumière, sans remarquer le phénomène de la goutte, dont parle M. Le Verrier.

Plusieurs autres observations du passage ou plutôt du contact

intérieur et de la sortie de Mercure nous parviennent à l'instant. Ce sont celles du P. Secchi et de M. Lais, à Rome, de M. Cacciatore à Palerme, de MM. Merino et Ventosa à Madrid, de MM. Fearnley, Mohn, Geelmuyden et Throndsen à Christiania, de M. Duner à Mund (Suède), de M. Bouquet de la Grye à Paris. Voici les temps du second contact intérieur, ramenés au centre de la Terre et exprimés en temps moyen de Paris :

Le P. Secchi à Rome	9h	9m	25s, 3
M. Lais à Rome.	9	9	32, 2
M. Merino à Madrid.	9	9	34, 7
M. Bouquet de la Grye à Paris.	9	9	37, 9
M. Cacciatore à Palerme.	9	9	41, 2
M. Ventosa à Madrid.	9	9	41, 6

Les observations de Christiania se rapprochent davantage de l'heure calculée du phénomène; car, en prenant pour la correction relative à la parallaxe 8s,6, et en rapportant les heures au temps moyen de Paris, on aurait pour les quatre observations du second contact intérieur :

M. Fearnley.	9h	9m	28s, 4
M. Mohn.	9	9	26, 4
M. Geelmuyden.	9	9	19, 8
M. Throndsen	9	9	30, 4

En résumé, l'écart le plus considérable avec le nombre obtenu par le calcul et déduit des tables de M. Le Verrier, est celui de l'observation de M. Ventosa à Madrid. L'heure trouvée est à peu près identique avec l'heure du second contact que supposent les nombres de la *Connaissance des Temps*. Mais il nous paraît évident que la différence que nous avons signalée plus haut entre ces derniers nombres et ceux de l'Observatoire perd de son importance, en présence de celles qui existent entre les observations elles-mêmes : il faut, avant de rien conclure, arriver à connaître la raison d'un écart aussi considérable, puisqu'il est, jusqu'à présent, de 24s entre les résultats extrêmes. Comment est-il possible que des astronomes expérimentés apprécient l'instant d'un phénomène physique, qui, pour tous devrait être le même, d'une façon si différente, et qu'il y ait, entre leurs appréciations, des divergences qui s'élèvent à près d'une demi-minute, quand il est certain que chacun d'eux croit pouvoir répondre de son résultat à moins d'une ou deux secondes ? M. le directeur de l'Observatoire

de Paris a raison de dire qu'il y a là un problème important à résoudre.

Un mot maintenant de ce qui concerne la planète elle-même. Son disque a paru, comme on l'avait remarqué dans les autres passages, d'un noir beaucoup plus tranché que celui des taches. Le P. Secchi a évalué, d'après les indications d'un verre gradué, « une noirceur au moins quatre fois plus forte dans la planète. » La comparaison avait lieu, bien entendu, avec le noyau noir des taches. « Je suis parvenu, dit M. Le Verrier, à obtenir une image très-noire, à bords très-tranchés et sans aucune trace de cette sorte de pénombre dans laquelle quelques observateurs ont cru voir un effet de l'atmosphère qui doit environner Mercure. La lumière du Soleil présentait, autour du disque noir de Mercure, sur une très-faible largeur, une plus vive intensité, sans doute par un effet de contraste. »

Dans la note insérée aux *Comptes rendus* de l'Académie sur les observations du passage faites à l'Observatoire de Paris, on lit : « M. Wolf a pu prendre un certain nombre de mesures du diamètre de Mercure, soit à l'aide d'un micromètre à deux fils mobiles, soit avec les prismes biréfringents d'Arago. La moyenne générale des dix-sept mesures micrométriques est 9″,63. Si l'on se borne aux huit derniers pointés, faits après la disparition des nuages, on trouve 9″,43. Le prisme biréfringent a donné 9″,26, valeur trop faible, le contact des deux images étant un peu trop prononcé. »

D'après les mesures de M. Stephan, le diamètre de Mercure n'était que de 7″,8. La comparaison de ces résultats à celui que donne le calcul indique des divergences assez considérables encore, puisque, d'après M. Le Verrier, on aurait dû trouver 10″,10, et, d'après la *Connaissance des temps*, 9″,80. Enfin, d'après dix déterminations de M. Ventosa, le diamètre apparent de la planète était de 9″,06.

En résumé, les détails que nous venons de donner sur le passage de Mercure du 5 novembre, ne nous paraissent pas de nature à inspirer une grande confiance dans la précision de ce genre d'observations astronomiques. Espérons qu'on sera plus heureux dans six ans d'ici, et que le passage prochain de Vénus fournira des données dont la précision sera en rapport avec l'importance qu'on y attache.

Amédée Guillemin.

PHYSIQUE

I

LE SECOND PRINCIPE DE LA THÉORIE MÉCANIQUE DE LA CHALEUR

SADI CARNOT, MM. CLAUSIUS ET RANKINE

La découverte de l'équivalence du travail mécanique et de la chaleur sera sans doute un des plus beaux titres de gloire du XIX[e] siècle. Physiologie, physique, chimie et astronomie, toutes les sciences y ont trouvé un solide point d'appui pour leurs progrès ultérieurs, aussi ce principe nouveau tient-il déjà une large place dans l'*Annuaire*, et celui-ci aura bien mérité de la science s'il a contribué à en répandre la connaissance[1].

Mais cette notion de l'équivalence ne constitue pas à elle seule la théorie mécanique de la chaleur, un autre principe, aussi et plus important au point de vue de la physique pure, avait été énoncé dès 1824 par Carnot.

La difficulté de donner une forme frappante et simple à ce principe, le langage mathématique de Carnot, l'éclat jeté par les expériences de M. Regnault, puis, par la découverte de l'équivalence avaient fait oublier du public l'opuscule remarquable, intitulé *Réflexions sur la puissance motrice du feu*, dans lequel Carnot avait cherché à établir les conditions de l'utilisation de la chaleur.

A peine cependant l'équivalence était-elle reconnue, que M. Thomson et M. Clausius, s'emparaient des idées de Carnot, les mettaient en harmonie avec la doctrine nouvelle, leur fai-

[1] Voyez *Annuaires* de 1863, 1864, 1865, 1867.

saient porter de nouveaux fruits et constituaient la féconde théorie mécanique de la chaleur qui repose réellement non sur un, mais sur deux principes.

Ce second principe est plus difficile à saisir que le premier, aussi est-il généralement inconnu ; en dehors des livres spécialement consacrés à la nouvelle théorie, les traités de physique ne le mentionnent pas... Malgré cela, les idées de Carnot dataient de si loin que l'*Annuaire* eût semblé mentir à son titre en s'en occupant, et il aurait continué à garder le silence, si, presque à la même époque, M. Clausius, dans son discours au congrès des naturalistes allemands, et M. Rankine dans le *Philosophical magazine* ne s'étaient plaints de l'ignorance générale où l'on était de ce second principe. Nous ne pouvions entendre cet appel adressé aux vulgarisateurs, sans chercher à y répondre.

N'ayant pas pour but de faire une histoire de la théorie de la chaleur, nous n'avons exposé des théories de Carnot, que ce qui subsiste aujourd'hui, des idées de M. Clausius, que ce qui nous a paru clair et exact ; à notre grand regret, nous n'avons pu résumer les travaux de M. Rankine, qui a retrouvé tous les résultats de ses prédécesseurs, en faisant *a priori* une hypothèse sur la nature du mouvement qui constitue la chaleur ; mais nous devions au moins mentionner ici le nom du savant qui, avec M. Joule et M. Thomson, a le plus contribué en Angleterre au développement de la théorie de la chaleur.

I

IDÉES DE CARNOT.

Une machine thermique, c'est-à-dire, une machine capable de transformer de la chaleur en travail, se compose essentiellement d'un corps dont les déformations produisent ou consomment du travail, et de sources de chaleur et de froid qui cèdent ou empruntent de la chaleur à ce corps. Lorsque ces déformations sont périodiques, le corps revient, à la fin de chaque période, exactement dans le même état physique, comme volume, pression, température, qu'au commencement ; il n'y a, dans chaque période, aucun travail intérieur produit, et le travail que le corps est su-

sceptible de fournir extérieurement, est équivalent à l'excès de la chaleur qui lui a été communiquée sur celle qu'il a perdue.

Parmi les procédés divers qu'on peut mettre en usage pour transformer cette chaleur en travail, les uns sont réversibles, et les autres ne le sont pas. Nous entendrons par réversible un procédé tel, qu'en faisant en sens inverse toutes les opérations, on arrive à transformer en chaleur équivalente la quantité de travail produite.

Voici un exemple de ce procédé : Prenons une masse d'air à 0°, et comprimons-la jusqu'à ce que son volume soit réduit aux $\frac{47}{100}$ sans lui fournir de chaleur, sa température s'élèvera néanmoins, et atteindra 100° juste ; ceci sera la première phase; la mettant en contact avec de l'eau bouillante, laissons-la se dilater jusqu'à ce que son volume soit doublé et sa pression devenue moitié ; pour que sa température ne s'abaisse pas par l'effet de cette dilatation, elle devra emprunter à l'eau bouillante une certaine quantité de chaleur à 100°, ce sera la seconde phase ; laissons-la ensuite se dilater, mais sans la tenir en contact avec l'eau bouillante, elle se refroidira, laissons sa température tomber à 0° (3e phase) : son volume sera alors plus grand que le volume primitif, et si nous la comprimons pour la ramener à ce volume, nous devrons pour le maintenir à 0° lui prendre la chaleur que la compression développe, en l'entourant par exemple de glace fondante (4e phase); cette chaleur sera moindre que celle que nous avons dû fournir à la masse quand elle était à 100°, mais, en se dilatant du simple au double à 100°, l'air a fourni plus de travail qu'on n'a dû en dépenser pour le comprimer dans la même proportion à 0°, la pression de la masse gazeuse étant plus grande dans le premier cas que dans le second. Cet excédant de travail est précisément équivalent à l'excès de la chaleur cédée au gaz dans la deuxième phase sur celle qu'il cède dans la quatrième.

Le tableau ci-joint indique les états successifs du gaz :

VOLUMES.		PRESSION.		TEMPÉRATURE.		TRAVAIL EN KILOGRAMMÈTRES.	CHALEUR EN CALORIES.
INITIAL.	FINAL.	INITIALE.	FINALE.	INITIALE.	FINALE.		
mèt. cub.	mèt. cub.	atmosph.	atmosph.	degrés.	degrés.	kilogr.	cal.
PREMIÈRE PHASE. — COMPRESSION ET ÉCHAUFFEMENT.							
1	0,466	1	2,92	0	100	— 3788	0
DEUXIÈME PHASE. — DÉTENTE.							
0,466	0,932	2,92	1,46	100	100	+ 4246	— 99,6
TROISIÈME PHASE. — DÉTENTE ET REFROIDISSEMENT.							
0,932	2	1,46	0,50	100	0	+ 3788	0
QUATRIÈME PHASE. — COMPRESSION.							
2	1	0,50	1	0	0	— 3109	+ 71,3

Le signe + se rapporte au travail créé ; le signe — au travail dépensé ; pour la chaleur, le signe + se rapporte à la chaleur cédée par le gaz ; le signe — à la chaleur qui lui est communiquée.

Ce procédé est réversible ; nous pouvons opérer en sens inverse, laisser dilater le gaz à 0°, de manière que son volume double, tout en le maintenant à 0°, ce qui nous obligera à lui donner à 0° la quantité de chaleur qu'il a cédée dans la quatrième phase du procédé direct, pendant qu'il effectuera le travail que nous avons dû dépenser pour le comprimer ; comprimer ensuite le gaz jusqu'à ce que sa température s'élève à 100°, ce qui exigera autant de travail qu'en avait fourni la dilatation dans la troisième phase du procédé direct, puis réduire le volume à moitié, en le tenant au contact de l'eau bouillante en dépensant du travail, plus que le gaz n'en a fourni en se dilatant à 0°, et recueillir de la chaleur à 100° ; ces quantités de travail et de chaleur seront précisément

celles qui entrent en jeu dans la deuxième phase du procédé direct; enfin, ramener le gaz à son état primitif en le laissant se dilater sans lui fournir de chaleur jusqu'à ce que sa température retombe à 0°.

En comparant ces deux procédés nous voyons que toute production de chaleur ou de travail dans l'un correspond à une dépense dans l'autre.

Nous sommes ainsi en possession de deux procédés ou de deux machines qui se complètent l'une l'autre : à la première nous fournissons 99,6 calories de chaleur à 100°, et nous retrouvons 28,3 calories en travail, et le reste en chaleur à 0°. A la seconde, au contraire, nous fournissons 71,3 calories en chaleur à 0°, et 28,3 calories à l'état de travail; nous retrouvons le tout en chaleur à 100°. La transformation de chaleur en travail, dans le premier cas, a été accompagnée d'un transport de chaleur de l'eau bouillante à l'eau à 0°; la transformation inverse de travail en chaleur dans la seconde machine a été accompagnée d'un transport de chaleur de l'eau à 0° à l'eau bouillante, Si nous faisions passer le travail produit par la première dans la seconde, le résultat final des deux opérations serait absolument nul. Ni l'eau à 0°, ni l'eau bouillante n'auraient perdu ni gagné de chaleur, aucun travail ne serait produit ni dépensé.

C'est sur ces transports de chaleur qui accompagnent la transformation que notre attention doit se porter spécialement, si nous voulons saisir le second principe. Il nous faut examiner si ces transports sont indispensables, si on ne peut en diminuer l'importance, soit par l'emploi d'autres procédés, soit en employant à la place de l'air un autre corps, gaz, vapeur ou solide.

La connaissance que nous avons de l'existence possible de notre seconde machine nous permet de répondre à ces deux questions.

Lorsqu'on veut transformer 100 calories en travail par notre premier procédé, il faut consommer 373 calories à 100°. S'il était possible d'en dépenser moins, 372 par exemple, de telle sorte que l'eau à 0° n'en reçût que 272, nous pourrions faire passer

[1] En nombres ronds, la transformation de 100 calories en travail est accompagnée du transport de 273 calories de l'eau bouillante à l'eau à 0°, et inversement.

les 100 calories dans notre seconde machine, en transportant 273 calories de l'eau à 0° à l'eau bouillante. L'eau à 0° ayant reçu 272 calories et cédé 273, en aurait perdu *une*, qui se retrouverait dans l'eau bouillante. En recommençant plusieurs fois ces deux opérations, il serait possible de transporter, sans aucune dépense de travail, autant de chaleur que l'on voudra, de l'eau froide à l'eau chaude.

Si, au contraire, une machine réversible employant un autre corps que l'air dépensait plus de 373 calories à 100°, 374 par exemple, pour produire 100 calories en travail, nous devrions en conclure qu'il pourrait exister une machine qui, en consommant le travail équivalant à 100 calories et 274 calories à 0°, pourrait produire 374 calories à 100°. En juxtaposant alors cette machine à notre première machine à air, qui ne dépense que 373 calories à 100°, nous arriverons encore à faire passer une calorie de l'eau froide à l'eau chaude sans dépense de travail.

Ainsi, nous sommes obligés d'admettre que toutes les machines réversibles fonctionnant entre 0° et 100° entraîneront toujours le même transport de chaleur de l'eau chaude à l'eau froide, et que, de toutes les machines possibles, ce sont les machines réversibles qui en transportent le moins, ou bien il faut admettre qu'il est possible, sans aucune perte de chaleur ou de travail, de transporter la chaleur de l'eau froide à l'eau chaude.

Un pareil résultat, sans être d'une absurdité patente, semble cependant en contradiction avec la généralité des phénomènes naturels. De là, à le regarder comme impossible, il y a une nuance, celle qui distingue la physique, science d'induction, des mathématiques, sciences de déduction. Admettre cette impossibilité, dans l'ignorance où nous sommes encore de la nature du mouvement que nous supposons être la chaleur, est une véritable hypothèse, dont les conséquences doivent être soumises à une vérification expérimentale; elles en sont heureusement susceptibles.

Il découle forcément de notre hypothèse : 1° qu'une machine fonctionnant entre deux températures déterminées, transformera la plus grande quantité de chaleur possible en travail, si elle est réversible ; 2° *que ce maximum est tout à fait indépendant de l'agent, gaz plus ou moins parfait, vapeur, etc., qui sert à cette transformation* ; 3° *que, comme nous pouvons ap-*

précier cette proportion dans le cas d'un gaz parfait, nous la connaissons pour tous les corps. Tel est le second principe fondamental de la théorie de la chaleur.

La conséquence économique, industrielle, c'est qu'il est indifférent d'employer la vapeur ou l'air surchauffés, mais qu'on doit s'attacher surtout à augmenter la différence des températures entre lesquelles fonctionne une machine ; quelle que soit l'importance de cette conclusion, au point de vue pratique elle ne se prête pas à des vérifications assez précises pour justifier complétement notre hypothèse ; il n'en est pas de même des conséquences théoriques.

Le principe de l'équivalence mécanique de la chaleur et du travail fournit des relations numériques entre diverses quantités spécifiques pour chaque matière, et regardées, jusqu'ici, comme indépendantes. Le nouveau principe en donne d'autres plus imprévues encore, que Clapeyron avait su tirer déjà des idées de Carnot. En poursuivant ces investigations, M. Clausius en Allemagne, et M. Thomson en Angleterre, sont arrivés à montrer que la connaissance de la loi qui lie les tensions élastiques des vapeurs saturées avec la température, et celle des chaleurs latentes de vaporisation permettent de calculer la densité de la vapeur saturée et la quantité de chaleur qu'on doit fournir à celle-ci lorsqu'on lui permet de se dilater pour la maintenir saturée.

Ils ont pu annoncer, contrairement aux idées reçues jusqu'alors, que la vapeur d'eau, en se détendant, devait se condenser partiellement, ce que l'expérience est venue justifier ensuite ; ils ont pu calculer d'avance de quelle fraction de degré une pression d'une atmosphère abaissait le point de fusion de la glace, et vérifier expérimentalement l'exactitude de la théorie ; enfin, la comparaison des résultats des expériences de M. Regnault, si précieuses par leur exactitude, par l'absence de tout parti pris chez l'observateur, avec ceux que donnait le calcul, a achevé de démontrer combien était fondée cette hypothèse.

Ces vérifications sont suffisantes pour nous permettre d'affirmer le second principe, tel que nous venons de l'énoncer.

II

FORME DONNÉE PAR M. CLAUSIUS AU SECOND PRINCIPE.

Si nous nous reportons à la machine à air dont nous nous sommes occcupés d'abord, nous voyons qu'en résumé nous avons fourni 373 unités de chaleur à 100°, et produit 273 calories à 0°, et la quantité de travail équivalant à 100 unités de chaleur. Nous pouvons dire que 373 unités de chaleur se sont transformées en travail à 100°, et que 273 ont été reconstituées par le travail à 0°. M. Clausius a proposé d'appeler transformation positive la transformation de travail en chaleur ; négative, la transformation inverse, et pour mesurer cette nouvelle entité, il propose de diviser la quantité de chaleur transformée par la température absolue (c'est-à-dire la température comptée à partir de 273° centigrades) à laquelle la transformation a lieu. Ainsi, pour notre machine il y aurait une transformation positive d'une valeur $\frac{273}{273}$, ou 1, et une négative de $\frac{373}{373}$, ou 1 également. En appliquant le raisonnement que nous avons fait sur notre machine, à toute autre machine réversible, fonctionnant entre d'autres températures, le résultat serait le même, les transformations positives et négatives auraient la même valeur, ou, pour emprunter le langage de l'algèbre, la somme de ces transformations serait nulle. C'est sous cette forme que M. Clausius présente les idées de Carnot (car tout ce que nous venons d'exposer appartient en propre à cet éminent esprit : l'idée d'examiner des cycles complets, c'est-à-dire une série de modifications d'un corps telle que l'état initial soit le même que l'état final, qu'on n'ait plus à se préoccuper du travail intérieur que doit entraîner un changement d'état ; l'idée de considérer spécialement les cycles réversibles, les conditions de la réversibilité, tout se trouve dans le petit opuscule publié en 1824 ; il n'y manque que la notion de l'équivalence de la chaleur et du travail, que nous avons pu introduire, presque sans modifier les termes des raisonnements de Carnot).

Sous cette forme précise, le second principe donne bien facilement le moyen de calculer l'effet d'une machine thermique ; soit, par exemple une machine fonctionnant entre 160° et 50°,

comme le ferait une machine à vapeur à haute pression et à condensation; les températures absolues seront 433°, et 323°. Pour 433 unités de chaleur fournies par le foyer ou par la chaudière, à 160°, il y a une transformation négative dont la valeur est $\frac{433}{433}$ ou 1; si nous employons un procédé réversible, et celui-là sera, nous le savons, le meilleur, nous devons avoir une transformation positive de valeur 1, à la température de 323°, c'est-à-dire que 323 calories devront être fournies par notre intermédiaire (ici la vapeur) à l'état de travail à 50° centigrades. L'excès de 433 sur les 323 calories, ou 110 calories seulement auront pu être transformées en travail, et à condition que nous emploierons un procédé réversible.

Qu'arriverait-il si nous avions employé un autre procédé non réversible, si nous ne prenons pas soin que, comme le veut Carnot, il ne se fasse dans les corps employés à réaliser la puissance motrice de la chaleur aucun changement de température qui ne soit dû à un changement de volume? ou si nous laissions ce corps, air ou vapeur, en contact avec un corps à une température différente?

Dans tous les cas, il y aurait moins de travail produit et une plus grande quantité de chaleur aurait perdu de sa température; nous aurions finalement plus de 323 calories à 50°, par exemple 350, et la valeur de transformation de ces 350 calories serait $\frac{350}{323}$, c'est-à-dire plus que 1, les transformations positives l'emporteraient sur les négatives. Il en serait encore de même si, pour élever la vapeur à 160°, nous nous servions d'un corps à plus haute température, à 200°, par exemple; les 433 calories que la vapeur prend auraient une valeur de transformation de $\frac{433}{200+273}$ ou $\frac{433}{473}$, c'est-à-dire moins que 1; toutes les fois que nous nous éloignerons des conditions de réversibilité, ou bien nous augmenterons les transformations positives, ou bien nous diminuerons les transformations négatives. Le résultat final sera le même, et nous pourrons dire: si un corps parcourt un cycle complet, les transformations positives l'emporteront toujours sur les transformations négatives, ou auront au moins une valeur égale.

III

EXTENSION DU SECOND PRINCIPE.

Supposons maintenant qu'au lieu de laisser parcourir au corps un cycle complet, nous l'arrêtions à l'un des états intermédiaires tout en suivant des procédés réversibles.

La valeur totale des transformations que ce corps aura subies ne sera plus nulle ; il importe de montrer que cette valeur totale est déterminée complétement par l'état initial que nous appellerons A et l'état final que nous nommerons B et ne dépend pas des états intermédiaires par lesquels le corps a dû passer entre l'état A et l'état B. Si, en effet, nous le ramenions de l'état B à l'état A, de manière à lui faire parcourir le cycle complet, la valeur totale des transformations serait nulle, c'est-à-dire que, pour aller de B en A, il faudra des transformations dont la valeur sera égale et de signe contraire à celles qui ont été nécessaires pour aller de A en B, et, comme nous pouvons suivre toujours le même chemin pour aller de B en A, tout en employant des procédés divers (toujours réversibles) pour aller de A en B, il faut bien que, quels que soient ces procédés, le corps subisse des transformations de même valeur.

Si le chemin suivi de A en B n'était pas réversible, en complétant le cycle de B en A par un chemin qui le fût, nous savons que dans le cycle total les transformations positives l'emporteront sur les autres, et comme il y aurait eu compensation si le chemin suivi de A en B eût été réversible, nous devons en conclure que, en ne suivant pas ce chemin, nous avons consommé plus de transformations positives qu'il n'eût été nécessaire, et plus que nous ne pourrions en consommer de négatives en retournant de B en A par un procédé réversible. C'est cet excès des transformations positives d'un corps, passant d'un état à un autre, sur celles qui seraient absolument nécessaires pour produire le même changement d'état que M. Clausius nomme l'*entropie* du corps. L'entropie ne change pas quand le corps n'éprouve que des modifications réversibles, elle augmente dans tous les autres cas, sans

pouvoir jamais diminuer ; à mesure que le monde avance en âge, l'entropie de toutes ses parties augmente et tend vers un maximum.

IV

CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

Avant de rechercher quel serait l'état du monde quand ce maximum serait atteint, il importe de remarquer, avec M. Clausius, combien ce résultat diffère de ceux auxquels on était parvenu jusqu'ici.

« On entend fréquemment dire que tout, dans l'univers, a un cours circulaire. Pendant que des transformations (et ici le mot a son sens vulgaire) ont lieu dans un sens, dans un lieu déterminé, et à une certaine époque, d'autres transformations s'accomplissent en sens inverse en un autre lieu et à une autre époque, de telle sorte que les mêmes états se reproduisent constamment, et que l'état du monde reste invariable quand on considère les choses en gros et d'une manière générale. Le monde peut donc continuer à subsister éternellement de la même façon [1]. »

L'œuvre entière de la Place a pour conclusion la stabilité du système du monde. Le principe d'équivalence de la chaleur et du travail mécanique, ou plus généralement le principe de la conservation de l'énergie est encore du même ordre : ce qui se perd d'énergie sous une forme, se retrouve sous une autre. Il semble que l'univers ait trouvé sa forme définitive.

Maintenant, au contraire, nous sommes conduits à penser que l'univers marche vers un état déterminé, et toujours dans le même sens; que les phénomènes qui constituent sa vie, ne sont pas tous réversibles, qu'il serait impossible qu'il revînt à son état primitif.

Quant à la nature de cet état final vers lequel le monde tend sans cesse, et que M. Clausius caractérise en disant que l'entropie y atteindra son maximum, nous pouvons la déterminer d'une manière sinon plus précise, au moins plus intelligible, en rappelant les principes qui nous ont guidé, et que je résume :

[1] M. Clausius.

1° Le travail, mécanique ou chimique, peut se transformer directement et intégralement en chaleur à toute température ;

2° La transformation inverse n'est possible qu'autant qu'elle est accompagnée, suivant l'expression de Carnot, d'un rétablissement d'équilibre entre les températures, c'est-à-dire de la transformation d'une quantité de chaleur à haute température en chaleur à basse température.

3° La chaleur à haute température peut d'elle-même se transformer en chaleur à basse température ;

4° La transformation inverse n'est possible qu'autant qu'elle est accompagnée de la transformation de travail en chaleur, ou de chaleur en haute température en chaleur à basse température.

Ou encore la température tend à s'équilibrer partout ; pour rompre cet équilibre, une dépense de travail, ou une dépense équivalente est nécessaire.

Si donc le travail est la seule source de chaleur à haute température (la quantité de travail chimique ou mécanique de l'univers étant supposée limitée) nous verrons disparaître peu à peu la quantité de travail disponible, avec elle les différences de température entre les différentes régions, de manière à tendre vers un équilibre de toutes les forces, physiques et chimiques, et de la chaleur elle-même, dans tout l'univers. Cet état définitif n'est donc que la mort complète par la dissémination de l'énergie ou l'égale répartition de toute cause de mouvement.

Il est inutile d'insister sur la portée philosophique de pareilles conclusions qui ne touchent pas moins à l'avenir qu'au passé du système du monde, mais avant de les présenter comme une vérité scientifique, comme un fait qu'on ne saurait éluder, il importe d'examiner soigneusement jusqu'à quel point sont fondés les raisonnements qui leur servent de base.

On a tout d'abord objecté ceci : si le monde est limité, si l'éther n'a pas une étendue infinie, la chaleur et la lumière rayonnante, se propageant au milieu de lui, rencontreront ses limites et devront s'y réfléchir. La surface extérieure formant un vaste miroir, les rayons qui viendront le frapper iront concourir en des foyers, dont la température s'élèvera indéfiniment ; les matériaux qui se trouveront à ces foyers, dissociés sous l'influence de cette température, iront se recombiner ailleurs, créant ainsi de nouvelles sources de travail. Cette objection est sans valeur,

même en admettant que l'éther soit limité, parce que la température de ces foyers, loin de s'élever indéfiniment, ne peut dépasser celle des sources de lumière et de chaleur, origine des rayons qui viennent s'y concentrer. Le calcul le montre, mais un peu de réflexion le fait comprendre ; si, dans une enceinte à 100°, on dispose un cube d'eau à 100°, un miroir qui reçoive les rayons qu'il émet et les concentre en un point unique, la température en ce point pourra s'élever à 100°, mais pas plus haut ; car, dans ces cas, il rayonnerait alors par l'intermédiaire du miroir sur le cube d'eau, et l'échaufferait, en se refroidissant.

Mais il y a deux autres objections plus graves, et qui n'ont pas été levées. Nos raisonnements ne s'appliquaient qu'à la transformation directe de la chaleur en travail, ou inversement ; il faudrait démontrer qu'ils sont encore exacts lorsque d'autres modifications de l'énergie (électricité, magnétisme, affinité chimique, chaleur rayonnante) entrent en jeu ; ils ne s'appliquent qu'aux phénomènes réversibles dans leur ensemble ; il nous a fallu supposer (page 44) que le corps qui avait été amené de l'état A à l'état B, pouvait être ramené de l'état B à l'état A. Il n'est pas bien démontré que tous les phénomènes chimiques rentrent dans ce cas ; malgré cette absence de rigueur, autant qu'il est permis d'avoir une opinion scientifique, on peut espérer que le second principe s'appliquera toujours, mais ce qui est encore moins permis, scientifiquement, c'est l'hypothèse obligatoire de la limitation de la quantité de travail disponible dans l'univers. Nous ignorons si la quantité totale d'énergie est limitée, nous ignorons aussi si elle est limitée sous chacune de ses formes.

Écartons donc pour le moment toute conclusion anticipée, rendons-nous bien compte que, quelque détour que nous ayons pu prendre, cette conclusion n'est que la réunion de deux hypothèses, l'une sur la limitation du travail disponible de l'univers, qui n'est basée sur rien, l'autre, sur la tendance de la chaleur à s'équilibrer, qui est une généralisation, un peu arbitraire, d'un certain nombre de faits. Sachons au moins attendre la justification complète de la seconde. Procéder autrement serait peut-être digne d'un métaphysicien, mais non d'un physicien et d'un véritable philosophe.

A. Reitop.

II

LA VITESSE DU SON ET L'ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR.

EXPÉRIENCES DE M. REGNAULT.

Parmi les constantes de la physique, une des plus importantes est sans contredit celle que l'on a nommée l'équivalent mécanique de la chaleur, c'est-à-dire le nombre de kilogrammètres équivalent à une calorie. De nombreux essais ont été faits pour déterminer ce nombre directement en transformant en chaleur une certaine quantité de travail, par l'intermédiaire de machines ou d'appareils plus ou moins complexes qui troublent toujours les résultats, et l'on doit admirer le soin avec lequel ils ont dû être faits pour conduire à des nombres un peu concordants.

Une seule méthode serait exempte de ces inconvénients : il faudrait pouvoir comprimer un gaz parfait et mesurer la chaleur produite ainsi que la compression. Malheureusement on rencontre dans l'application de cette méthode une foule d'inconvénients dont les moindres sont la petitesse des quantités à mesurer, et la rapidité avec laquelle la chaleur dégagée se dissipe. Les méthodes que l'on a imaginées dans ce but sont si peu précises, que les erreurs y atteignent près de 5 pour 100.

La propagation du son est liée à une série de transformations de chaleur en travail, et inversement, transformations qui s'opèrent sans l'intermédiaire d'aucun appareil ; aussi, quelque indirect que paraisse un procédé basé sur la mesure de la vitesse dela propagation du son, c'est jusqu'à présent à l'acoustique que l'on doit demander la connaissance de l'équivalent mécanique de la chaleur.

Ces considérations ont décidé M. Regnault à entreprendre des recherches sur la vitesse du son, et à couronner ainsi la longue série de ses études sur la constitution des gaz.

I

MODE DE PROPAGATION DU SON.

Lorsqu'on enfonce un piston dans un tube, l'air contenu dans ce tube ne se meut pas tout d'une pièce, comme le ferait un corps solide et absolument rigide; mais le mouvement imprimé aux couches d'air voisines du piston se propage peu à peu dans la masse gazeuse, et n'arrive à l'extrémité du tuyau qu'un certain temps après.

Si, après avoir enfoncé le piston, on le retire, la dilatation produite par ce mouvement se propagera comme la compression et par le même mécanisme. Si l'on donne au piston des mouvements alternatifs assez rapides pour qu'ils deviennent, sous forme de sons, perceptibles à l'oreille, les condensations et les dilatations ainsi produites voyageront l'une à la suite de l'autre dans le tuyau avec la même vitesse. Cette vitesse est la vitesse de propagation du son.

La grandeur de cette vitesse est ainsi liée intimement aux réactions que les tranches d'air comprimées ou dilatées exercent les unes sur les autres. On comprend, sans qu'il soit besoin de recourir à l'analyse mathématique, que le son se propagera d'autant plus vite, que l'élasticité de l'air sera plus grande, c'est-à-dire qu'à un même déplacement dans l'air correspondra une plus grande force de réaction; et que, si, au lieu d'air, nous remplissions le tuyau d'un autre gaz de même élasticité et d'une densité moins grande, les forces mises en jeu étant les mêmes, mais agissant dans le second cas sur une masse pondérable moindre, la vitesse de propagation devra être augmentée. C'est ce qui ressort en effet de la formule par laquelle Newton a représenté la vitesse du son dans les gaz; vitesse qui est, dit-il, la racine carrée du rapport de l'élasticité à la densité, ce qui donnerait dans l'air à 0° une vitesse de 280 mètres, bien inférieure à la vitesse réelle.

La cause de ce désaccord, que la Place a découverte, est la manière dont Newton calculait l'élasticité du gaz; il ne tenait pas compte de la chaleur développée par les condensations, du froid produit par les dilatations, et ces changements de tempé-

rature modifiant l'élasticité de l'air sans changer sa densité, doivent réagir sur la vitesse de propagation du son. En effet, lorsqu'une tranche d'air se trouve comprimée, la réaction qu'elle exerce sur les parois et sur les tranches voisines dépend de la manière dont elle a été comprimée. Si la compression est assez lente pour que la chaleur développée à chaque instant se dissipe, que la température de l'air ne s'élève pas, cette réaction sera moins grande que si la compression est brusque et que la chaleur reste dans la tranche d'air comprimée ; s'agit-il, au contraire, d'une dilatation, le froid produit par elle diminue la pression qui s'oppose à la détente des tranches voisines et facilite cette détente. Dans tous les cas, les forces mises en jeu sont plus grandes que si les changements de volume du gaz n'étaient pas accompagnés de changements de température. La vitesse de propagation du son doit donc être augmentée, et il faudra substituer à l'élasticité, telle que la calculait Newton, le rapport réel entre l'accroissement de pression et la diminution de volume calculé en tenant compte de la chaleur développée.

On s'aperçoit alors qu'il faut également introduire dans les formules l'intensité du son ou des condensations, car les accroissements de pression ne sont proportionnels aux compressions que lorsque celles-ci sont infiniment petites. Le tableau suivant montre bien que le rapport croît sensiblement avec la compression. Lorsque celle-ci est de $\frac{1}{100}$, le rapport est de 1,41 ; si elle est de $\frac{1}{10}$, le rapport est de 1,43 ; de $\frac{1}{10}$, de 1,60 ; de $\frac{1}{2}$, de 3,34 :

Volume primitif 1. Le volume étant réduit à	Pression primitive 1. La pression devient
0,999	1,00141
0,990	1,01427
0,900	1,16026
0,500	2,66964

Ce que Newton appelait l'élasticité de l'air change donc avec la grandeur des condensations, et, par suite, une onde sonore intense devra se propager plus vite qu'une onde faible, et nous serons obligés, afin de préciser, d'entendre par vitesse de propagation du son celle qui appartient aux ondes les plus faibles possible.

Il résulte encore de ces considérations que lorsque le son se

propage dans un milieu indéfini dans tous les sens, comme son intensité diminue rapidement avec la proximité du corps sonore, il marche de moins en moins vite, à mesure qu'on s'éloigne de son origine, et que dans ces conditions on ne peut arriver à estimer avec précision la vitesse de propagation, puisqu'elle varie à chaque instant.

D'ailleurs l'atmosphère est traversée à chaque instant par une infinité de courants. La température, l'humidité sont variables en chaque point. C'est donc en opérant sur des tuyaux enfouis en terre qu'on pourra le mieux s'approcher des conditions théoriques. Il est facile d'ailleurs de remédier à leur peu de longueur par des réflexions successives ; de plus, on n'est pas obligé d'avoir recours à des coups de canon, qui produisent forcément dans l'air un mouvement de transport qui complique encore le phénomène.

Les grandes canalisations auxquelles ont donné lieu l'annexion de la banlieue à la ville de Paris, et la distribution des eaux de la Marne et de la Dhuis, ont rendu possible la réalisation d'expériences dont dont M. Regnault s'était tracé le programme dès 1855.

II

EXPÉRIENCES DE M. REGNAULT.

Le procédé d'observation était le suivant :

L'orifice d'un tuyau est fermé par une plaque de tôle percée d'une ouverture circulaire dans laquelle s'engage le canon d'un pistolet : un fil télégraphique bien isolé de la terre suit la ligne des tuyaux dans toute sa longueur ; il est constamment en communication avec l'un des pôles d'une pile, dont l'autre communique avec la terre.

On charge le pistolet à l'aide d'une quantité connue de poudre de chasse : le pistolet étant chargé, on tend sur la bouche du canon un fil fin d'acier, communiquant par l'un de ses bouts avec le fil télégraphique, et par l'autre avec la terre. Le courant de la pile est ainsi établi par l'intermédiaire du fil tendu sur la bouche du pistolet.

La seconde extrémité de la ligne de tuyaux est fermée par une membrane mince en caoutchouc, qui porte à son centre un petit disque en platine, communiquant avec la terre par un fil métallique très-flexible. L'extrémité du fil télégraphique se termine par une pointe émoussée qui se trouve exactement au-devant du disque, et que l'on peut approcher à volonté. Tant que la pointe ne touche pas le disque, le courant de la pile ne peut gagner la terre par cette voie.

Un appareil enregistreur est placé près de la première station ;trois traceurs inscrivent sur lui : 1° les oscillations d'un pendule à secondes ; 2° les vibrations régulières et continues d'un diapason ; 3° les interruptions et les rétablissements du courant dans le fil télégraphique.

Pour faire une expérience, on donne le mouvement à l'appareil enregistreur, on fait partir le coup de pistolet. La bourre rompt le fil d'acier et arrête le courant ; cette interruption est marquée sur l'appareil enregistreur. Lorsque l'onde produite par le coup arrive à l'extrémité du tuyau, elle pousse vivement la membrane de caoutchouc, dont le disque vient frapper sur la pointe qui termine le fil télégraphique ; le courant se trouve rétabli, et son rétablissement est inscrit sur l'appareil enregistreur. Pour avoir, en secondes, le temps que l'onde a mis pour parcourir le tuyau, il suffit de compter le nombre de vibrations du diapason et la fraction de vibrations qui se trouve comprise entre les deux marques du départ et de l'arrivée, ainsi que le nombre de vibrations qui correspond au même moment à une oscillation du pendule à secondes.

Dans certaines expériences, le coup de pistolet a été supprimé, et l'onde foulante a été produite par l'admission d'une petite quantité d'air provenant d'un réservoir d'air comprimé, ou bien par le choc d'un piston embrassant tout l'orifice d'un tuyau. On pouvait ainsi faire varier les intensités des ondes et étudier l'influence de cette variation sur la vitesse de la propagation. D'ailleurs, en substituant, immédiatement après la production de l'onde, à la plaque de tôle dans laquelle s'engageait le canon du pistolet, une membrane semblable à celle qui se trouve à l'extrémité du tuyau, on pouvait enregistrer le retour de l'onde à son point de départ après une ou plusieurs réflexions ; l'onde se trouvait notablement affaiblie après chacun de ces trajets, on pouvait

ainsi comparer les vitesses de différentes ondes d'intensité sans cesse décroissante.

M. Regnault a fait en outre quelques séries d'expériences en remplissant les tuyaux de gaz divers et d'air à des pressions variables.

Les diamètres des tuyaux ont varié de $0^m,108$ à $1^m,10$.

III

RÉSULTATS DE CES EXPÉRIENCES.

Les conclusions générales de son mémoire sont celles-ci.

La vitesse de propagation diminue avec l'intensité de l'onde. — Cette intensité diminue beaucoup plus vite dans un tuyau étroit que dans un tuyau large. Cette diminution est tellement sensible, que l'onde du coup de pistolet n'est plus perceptible à l'oreille après un parcours de $1,133^m$. Il en résulte nécessairement que la vitesse moyenne de propagation sera plus faible dans un tuyau étroit, toutes choses égales d'ailleurs.

La vitesse, dans l'air, est rigoureusement indépendante de la pression (ainsi que la théorie l'indique, la pression modifiant également la densité et l'élasticité dans les gaz qui suivent la loi de Mariotte), pour des pressions variables de 247 et 1,267 millimètres de mercure.

Pour les gaz autres que l'air, les vitesses ne diffèrent que très-peu de la vitesse calculée, en supposant que l'élasticité suit dans ces gaz la même loi que pour l'air, ou que la chaleur développée par la compression est la même, ce que l'on sait ne pas être tout à fait exact.

Enfin M. Regnault propose de fixer à $330^m,60$ la vitesse théorique du son, c'est-à-dire des ondes infiniment faibles, dans l'air sec et à $0°$. Il y a nécessairement quelque incertitude dans cette détermination. En effet, M. Regnault n'a pas mesuré les compressions des ondes produites ; on ne peut donc savoir, *a priori*, si les ondes les plus faibles qu'il ait observées l'étaient assez pour que l'on pût admettre la proportionnalité des excès de pression aux diminutions de volume, ce qui, d'après le tableau que nous avons donné, cesse d'être admissible dès que la condensation at-

teint $\frac{1}{10}$. De plus, ces ondes faibles se propagent bien plus lentement dans des tuyaux de faible section ; M. Regnault a trouvé 324 mètres pour la vitesse de propagation dans les tuyaux de $0^m,108$: il attribue cette diminution de la vitesse à l'action des parois qui exercent sur l'air un véritable frottement, et il est obligé d'admettre que cette action est négligeable dans les tuyaux de $1^m,10$. A ces deux causes d'erreur, le retard dû à l'action des parois, et l'accélération due à ce que la condensation n'est pas réellement infiniment petite, vient s'en ajouter une troisième, introduite par le mode d'expérimentation ; le disque en platine ne vient pas frapper la pointe qui lui est opposée au moment précis où l'onde arrive à la membrane de caoutchouc, et il faut de plus un certain temps pour que le courant s'établisse dans le fil télégraphique et devienne assez fort pour marquer sur l'appareil enregistreur ; dans plusieurs expériences, on a eu la preuve que cette cause d'erreur n'était pas négligeable, de telle sorte qu'on ne peut pas affirmer absolument l'exactitude du nombre $330^m,6$, ni même estimer jusqu'à quel point il peut s'approcher de la vérité.

Il convient de rappeler qu'en opérant à l'air libre, M. Regnault a trouvé $330^m,7$, et que les expériences faites en 1822 par le Bureau des longitudes entre Villejuif et Montlhéry avaient donné $331^m,12$. Il est permis de supposer que si la valeur de $330^m,60$ est erronée, elle ne s'écarte pas de $\frac{1}{1000}$, de la valeur réelle. On en conclut que pour de très-petites condensations, le rapport que nous avons supposé 1,41 dans le tableau, d'après des expériences plus anciennes, et fondées sur d'autres principes, doit être de 1,3945. Il nous reste à montrer comment on peut, de cette valeur, déduire l'équivalent mécanique de la chaleur.

IV

CALCUL DE L'ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR.

Nous pouvons d'abord calculer de combien de degrés une compression subite échauffe une masse d'air. Supposons que le volume de l'air soit diminué de $\frac{1}{1000}$. Si sa température restait la même, sa pression réglée par la loi de Mariotte augmenterait de

0,001001 ; au lieu de cela, elle augmente de 0,0013945 : elle devient ainsi plus forte de 0,0003935, et cet excès de pression doit correspondre à une élévation de température, facile à calculer puisque l'on sait que, pour 1° centigrade, cette pression augmente de 0,00367 de sa valeur ; nous trouvons ainsi que la température de l'air a dû s'élever de 0°,1073.

Supposons que notre masse d'air soit enfermée dans un cylindre de 1 mètre carré de base, de 1 mètre de haut, et fermé par un piston. La compression de $\frac{1}{1000}$ correspond à un abaissement de 1 millimètre ; et comme la pression atmosphérique sur un mètre carré est de 10333^{k}, le travail à effectuer sera de 10,333 kilogrammètres. C'est la quantité de travail qui correspond à l'échauffement de la masse d'air.

Si nous avions voulu produire cet échauffement en donnant de la chaleur à l'air, et en le laissant se dilater librement, il eût fallu lui donner 0,03298 calories ; mais en même temps l'air s'étant dilaté de 0,0003935, on eût créé un travail de $10333 \times 0{,}0003935$ ou 4,068 kilogrammètres.

Ainsi nous pouvons échauffer l'air de 0°,1073 par deux moyens ; ou dépenser 10,333 kilogramètres, ou dépenser 0,03298 calories en créant 4,066 kilogramètres. La dépense de 0,03298 calories est donc équivalente à la dépense de 14,399 kilogrammètres, ou celle d'une calorie, à la dépense de 436 kilogrammètres.

Telle est, jusqu'à présent, l'évaluation la plus exacte de *l'équivalent mécanique de la chaleur.*

REITOP.

III

DE LA TRANSMISSION DE L'ÉLECTRICITÉ.

La question de la télégraphie électrique est maintenant constamment à l'ordre du jour : nombreux sont les perfectionne-

[1] Voici les éléments de ce nombre. Masse de l'air, 1^{k},293; chaleur spécifique sous pression constante, 0,2377 ; élévation de température, 0°,1073.

ments, les développements que subit, par exemple, le système télégraphique de notre pays ; les relations avec les pays étrangers sont rendues plus faciles, partant, deviennent plus nombreuses ; le temps n'est pas éloigné où nous aurons une communication directe avec l'autre continent. Un câble transatlantique français doit être livré au public dans une année (septembre 1869) ; une compagnie s'est formée, les commandes sont faites, la fabrication peut-être commencée. Les Anglais possèdent un matériel éprouvé, un outillage complet pour ce genre de travail ; il était donc naturel de s'adresser à eux pour l'obtention d'un câble de parfaite construction ; d'autre part, le *Great Eastern* est le seul navire réunissant les conditions diverses de commodité et de sécurité, aussi ce navire sera-t-il chargé de la pose du câble. Il me semble seulement à regretter que, parmi les ingénieurs et *électriciens* attachés à ce travail, un seul soit Français. Aussi bien n'aurons-nous pas à tirer vanité de cette ligne télégraphique, il faudra nous contenter d'en profiter.

Le câble partira de Brest et se dirigera vers l'île Saint-Pierre, colonie française qui, comme centre de la pêche à la morue, présente un intérêt commercial incontestable. Sur tout ce parcours, le fond de la mer présente un plateau satisfaisant aux nécessités qu'exigent la pose et la sécurité du câble. De Saint-Pierre, le câble se rendra à New-York directement.

La première section a une longueur de 2,325 milles (3,700 kilomètres) ; la seconde, moins considérable comme longueur et comme difficultés à vaincre, n'a que 720 milles (1,150 kilomètres). Dans un volume précédent de l'*Annuaire* [1], les lecteurs ont pu se rendre compte des difficultés que présente la pose d'un câble transocéanique, les moyens qu'on avait employés pour satisfaire aux diverses exigences de ce travail et les alternatives de craintes et d'espérances par lesquelles on est passé, enfin le succès complet de cette entreprise gigantesque. Nous n'avons rien à ajouter à ces renseignements : c'est sous un point de vue différent que nous voulons examiner les télégraphes, et en particulier les télégraphes sous-marins : le mode de transmission de l'électricité dans un fil conducteur sera le sujet du présent article.

[1] *Le Câble transatlantique*, par E. Menu de Saint-Mesmin, *Annuaire scientifique*, 6e année. 1867.

I

On est arrivé à mesurer avec une grande exactitude la vitesse du son ; des expériences précises exécutées dans diverses conditions (depuis celles qu'on a faites en 1822 entre Villejuif et Montlhéry jusqu'aux récentes déterminations de M. Regnault, 1868) ont permis de fixer à $330^{m},60$ l'espace parcouru en une seconde par un son ou un bruit. D'autres expériences d'une difficulté bien plus considérable ont également donné la vitesse de propagation de la lumière ; on sait maintenant que cette vitesse est de 298,000 kilomètres par seconde. Mais si l'on cherche dans les ouvrages spéciaux, dans les mémoires originaux, la vitesse de l'électricité, on trouve des nombres tellement différents, qu'on ne peut croire qu'il s'agisse d'un même phénomène, et cependant chacun des chiffres est exact, mais seulement à un point de vue particulier et dans des conditions spéciales. Nous allons entrer dans quelques détails sur ces différences, qui sont d'un intérêt capital dans la télégraphie.

Lorsqu'un phénomène acoustique ou lumineux a lieu en un point de l'espace, il faut un temps, que l'on peut calculer, pour que sa manifestation se fasse sentir en un autre point donné. L'intensité de cette manifestation dépend de la distance considérée et des milieux traversés, mais l'effet est en tout semblable au phénomène même. Si, par exemple, nous produisons un bruit sec, un éclat lumineux suivi d'obscurité, à une distance quelconque, les sensations que feront naître ces phénomènes seront également brèves, de courte durée ; si le son se prolonge, si la source de lumière continue d'éclairer, les sensations ressenties dureront également : elles auront des variations d'intensité qui suivront avec exactitude les variations du phénomène qui les produit. Ces sensations seront toutes en retard du temps nécessaire à la transmission du phénomène entre la cause et l'organe impressionné ; mais ce retard sera le même pour les diverses phases que l'on pourra examiner en tant que le phénomène ne subira pas de modifications essentielles changeant sa nature.

Supposons deux observateurs placés l'un à 1,000 mètres, l'autre

à 2,000 mètres d'un instrument sonore de grande puissance comme un sifflet à vapeur ou une trompette à air comprimé. Au commencement d'une seconde, faisons produire un son d'une durée de deux secondes : ce son sera terminé avant que le premier observateur en ait eu connaissance : il ne le percevra qu'après 3 secondes écoulées, et cette sensation se prolongera pendant 2 secondes comme le phénomène qui la cause. Lorsque le premier observateur cessera d'entendre, le second n'aura rien encore éprouvé ; ce ne sera qu'après la 5e seconde qu'il entendra le son, lequel durera aussi pour lui 2 secondes. On le voit, il y a, non pas simultanéité, mais identité de durée entre le phénomène et la sensation.

Dans les phares à éclipses, la lumière est masquée pendant un certain temps, puis brille pendant un temps aussi déterminé. Un observateur placé en mer aperçoit la lumière presque à l'instant précis où elle est démasquée ($\frac{1}{1000}$ de seconde après au plus) ; s'il s'écoule une, deux secondes avant que l'écran reprenne sa position première, l'observateur apercevra la lumière pendant un temps exactement égal, quelle que soit d'ailleurs sa position. En un mot, la transmission des phénomènes optiques et lumineux diminue leur intensité, mais n'altère en rien les rapports des variations successives qu'ils subissent, ni les durées de ces variations.

Tous les phénomènes que nous pouvons produire ne se comportent pas de la même façon ; les actions calorifiques et électriques suivent d'autres lois ; cela est vrai, du moins pour la chaleur transmise par les corps ; il est plus probable que, lorsqu'elle traverse les espaces planétaires, par exemple, son mode de transmission est analogue à celui de la lumière.

Concevons une masse de très-grande dimension que, par un procédé quelconque, nous puissions subitement échauffer très-fortement en l'un de ses points ; si, par divers instruments de mesure, nous pouvons à chaque instant être renseignés exactement sur la température de tous les points, nous reconnaîtrons que l'action de la source de chaleur s'est fait sentir immédiatement ou après un temps que l'on n'a pas apprécié jusqu'à présent ; mais cette action sera très-faible tout d'abord et l'élévation de température d'un point situé à une distance un peu notable de la source de chaleur sera petite. Nous trouverons par l'observation qu'il a fallu un certain nombre de secondes pour qu'un point ait atteint la moitié de la température de la source ;

mais il s'en faut bien que, après un temps égal, le gain de chaleur soit le même, c'est-à-dire que le point observé arrive à la température de la source. Pendant des intervalles de temps égaux, les accroissements successifs de température vont constamment en diminuant, si bien que théoriquement, il faudrait un temps infini pour qu'un point quelconque atteignît la température de la source de chaleur.

La loi mathématique qui règle ce phénomène est dite *loi de Newton ;* elle consiste en ce que, dans des temps égaux très-petits, le gain de chaleur est proportionnel à la différence de température des points considérés. Le gain de chaleur par unité de temps diminue donc à mesure que le point sur lequel on expérimente a une température plus élevée. Il se produit un effet analogue à ce qui a lieu dans le cas où l'on réunit par un tube deux vases d'assez grande hauteur, l'un rempli de liquide, l'autre vide : la quantité d'eau qui passe d'un vase à l'autre par seconde, et qui varie avec la différence de niveau, est considérable d'abord et diminue par le fait de l'élévation de niveau dans le vase qui se remplit, en supposant même que la surface libre du vase d'où l'eau s'écoule reste à la même hauteur. Le calcul indique qu'il faudrait un temps infini pour amener le liquide à avoir le même niveau dans les deux vases : en réalité, il faut un temps plus ou moins long, mais nettement déterminé.

Si le vase qui reçoit le liquide est lui-même percé d'une ouverture, il arrivera un moment où la quantité de liquide qui s'écoule par cet orifice, quantité qui augmente lorsque le niveau s'élève, sera précisément égale au volume d'eau fourni par l'orifice d'admission, volume qui diminue lorsque le précédent augmente ; à partir de cet instant, le niveau du liquide dans le vase récepteur ne variera plus, ce niveau étant, du reste, inférieur à celui du liquide dans le premier vase, ce dernier étant, comme nous l'avons dit ci-dessus, supposé constant.

Un phénomène, comparable à celui-ci comme effet produit, se présente lorsque le volume de matière que nous avons considéré précédemment se termine par une surface placée dans un milieu auquel elle peut transmettre la chaleur en totalité ou en partie. Chaque point de cette masse arrive à un équilibre de température intermédiaire à celle de la source et celle du milieu, équilibre qui est déterminé par cette condition que la chaleur reçue d'un

côté soit égale à la chaleur transmise de l'autre. On conçoit facilement que les points situés entre la source de chaleur et la surface terminale possèdent des températures distribuées suivant une certaine loi que nous n'avons pas à examiner.

Si nous considérons, non une masse échauffée en un point central, mais une barre dont l'une des extrémités est maintenue à une température élevée et invariable, il se passera un phénomène du même genre ; seulement la loi de distribution des températures sera différente de celle que nous aurions trouvée dans le cas précédent, et la température à l'extrémité libre sera moins élevée que dans ce même exemple : cet effet tient à la quantité de chaleur perdue par la surface latérale de la barre et transmise par elle au milieu ambiant. On peut continuer la comparaison que nous avons indiquée, et se rendre compte ainsi de ce fait, en supposant que le tuyau d'amenée du liquide fuie sur toute sa longueur ; il est clair alors que moins d'eau arrivera au vase récepteur : que, par suite, la surface libre du liquide atteindra un niveau moins élevé.

II

La transmission de l'électricité est en tout semblable à ce que nous avons indiqué pour la chaleur ; c'est du moins l'hypothèse qui sert de base aux applications des mathématiques au mouvement de l'électricité, et les résultats obtenus sont, jusqu'à présent, conformes aux faits observés. Si nous avons si longuement insisté sur la comparaison de cet agent supposé, le calorique, avec cet autre fluide hypothétique, l'électricité, c'est que les notions de quantité de chaleur et de température nous semblent plus répandues, plus usuelles que celles de quantité d'électricité et de tension électrique.

Sans vouloir préjuger en rien la question de nature de ces agents, sans vouloir donner à une comparaison matérielle plus d'importance qu'elle n'en mérite, nous pouvons nous représenter assez nettement les phénomènes étudiés jusqu'à ce jour en attribuant à ces mots : quantité d'électricité, une idée analogue à celle de quantité de chaleur ou volume de liquide, et à cette expression : tension électrique, une signification rappelant à peu près celles de : température ou de pression hydrostatique.

Nous pouvons comprendre alors que la tension en un point d'un conducteur électrique dépend non-seulement de la quantité d'électricité fournie dans un temps donné, mais aussi des dimensions et de la nature de ce conducteur.

Les expériences qui ont été faites sur la vitesse de propagation des courants électriques ont des significations diverses. Les premières recherches sont dues à Wheatstone; il opérait sur de l'électricité à haute tension provenant d'une bouteille de Leyde et produisant des étincelles en différents points d'un très-long circuit : un dispositif tout spécial devait être employé pour évaluer le temps qui était très-petit. Les expériences conduisirent à admettre le chiffre de 460,000 kilomètres par seconde, vitesse bien supérieure à celle de la lumière. Cette expérience et les résultats obtenus étaient classiques, lorsque d'autres essais furent tentés dans différents pays; l'usage des télégraphes se généralisant, de grandes longueurs de fils conducteurs pouvaient être étudiées. Les résultats semblèrent d'abord inconciliables avec les idées que l'on s'était formées. Ainsi, tandis que Pouillet jugeait trop faible le chiffre donné par Wheatstone, on obtenait d'autre part les vitesses suivantes :

Walker, dans un fil de fer.	30,000	kilom.	par seconde.
O'Mitchell, *id*.	45,000	—	—
Fizeau et Gounelle, *id*..	180,000	—	—
— — dans un fil de cuivre	100,000	—	—

Certes, dans de semblables expériences, des erreurs même assez notables étaient compréhensibles, mais on ne pouvait attribuer à des défauts d'observation des résultats plus que décuples les uns des autres (Wheatstone et Walker); c'est qu'en effet, la question n'était pas bien posée et que, dans toutes ces études, on ne déterminait pas la même chose, rien ne caractérisait nettement l'inconnue que l'on voulait calculer.

Les divers observateurs étudiaient combien il s'écoulait de temps entre le moment où ils lançaient le courant dans le circuit et l'instant où ce courant avait atteint à l'autre extrémité une intensité suffisante pour agir sur un appareil variant suivant les expériences. Or, ce temps dépend non-seulement de la longueur du circuit, mais aussi de la quantité d'électricité fournie par la

source et de la tension nécessaire à la manifestation expérimentale de la présence de l'électricité dans l'appareil récepteur.

Si nous reprenons la comparaison avec les actions calorifiques, on voit que le problème était ainsi posé : Étant données des sources de chaleur d'intensité variable, combien faut-il de temps pour qu'en un point déterminé, la température ait atteint un degré d'élévation qui diffère d'une expérience à l'autre ? Le problème ainsi posé, on ne pouvait trouver une réponse satisfaisant à tous les cas ; mais à un ensemble de conditions correspond un coefficient qui perd toute valeur lorsqu'une ou plusieurs de ces conditions varient.

La loi fondamentale sur laquelle nous nous appuyons pour faire ressortir les analogies entre l'électricité et la chaleur n'est pas démontrée directement. Mais, comme nous l'avons dit, elle a servi à Ohm de base pour déduire par le calcul les lois des courants[1]. Ces lois, à l'étude desquelles Pouillet a consacré de nombreux travaux, ont été vérifiées dans des conditions diverses et par plusieurs physiciens, Faraday, Fechner, Jacobi, Kohlrausch, etc.; les expériences de Whitehouse ont été également affirmatives, et la longueur du circuit, 1,020 milles (1,650 kilomètres environ), leur donne une valeur pratique incontestable.

Ces différents expérimentateurs avaient en vue l'étude de l'intensité du courant lorsque l'*état permanent* s'est établi, c'est-à-dire lorsque chaque élément recevant d'un côté autant d'électricité qu'il en perd d'autre part, aucun changement ne se manifeste plus dans les tensions électriques aux divers points. Les vérifications n'en avaient pas moins une valeur décisive et suffisant presque pour donner la certitude de la vérité du principe fondamental. M. Guillemin, dans une série d'expériences faites sur des lignes télégraphiques d'une grande étendue et par le moyen d'appareils ingénieux, a pu mettre en évidence l'existence de l'*état variable*, état qui est caractérisé par cela que, pour chaque point, la tension électrique croît depuis 0 jusqu'à la valeur qu'elle conservera après l'établissement de l'état permanent. La durée de l'état variable est très-faible, du reste ; elle n'atteint que deux centièmes de seconde pour le courant lancé dans un fil de 570 kilomètres par une pile composée de 60 éléments Bunsen. Cette durée varie avec

[1] *G. S. Ohm. Die galvanische Kette.* Trad. par Gaugain.

la longueur du fil et avec la puissance de la pile employée. Quoique la méthode employée présente quelques points que l'on peut à bon droit critiquer, et que l'on ne puisse, par suite, avoir toute confiance dans les chiffres obtenus, cependant l'existence de l'état variable est expérimentalement démontrée.

Si l'on vient à rompre le circuit, il doit se présenter un effet inverse, une autre période d'état variable à tension décroissante. Il faudrait aussi théoriquement un temps infini pour rendre nulles toutes les tensions. En réalité, l'expérience a prouvé que ce temps est très-court quoique plus long que celui de l'état variable d'établissement du courant, quatre fois plus long, dit M. Guillemin.

On sait qu'il n'est pas nécessaire d'avoir un circuit qui, partant de la pile, revienne à la pile : il suffit que, d'une part, l'extrémité libre du fil soit en communication avec le sol, le pôle de la pile auquel n'aboutit pas le fil étant aussi en rapport avec le sol.

III

Nous pouvons actuellement nous rendre compte des conditions nécessaires pour la transmission des signaux télégraphiques; nous pouvons également avoir une limite de la durée de transmission.

Dans la plupart des appareils télégraphiques, les signaux reçus sont produits par la transformation du mouvement d'une armature en fer doux qui peut être attirée par un électro-aimant devant lequel elle se trouve, cette armature étant soumise, en outre, à l'action d'un ressort qui l'éloigne constamment de l'aimant. Pour qu'il y ait production d'un signal, il faut que la force magnétique développée dans l'électro-aimant par le passage du courant soit suffisante pour vaincre l'action du ressort antagoniste; il faut que le courant ait atteint une certaine intensité, puisque c'est de cette intensité que dépend la force de l'aimant.

Si la ligne est de peu de longueur et surtout si l'isolement du fil est suffisant et la perte par l'air peu considérable, l'intensité du courant, au moment où il pénètre dans le récepteur, sera capable d'attirer l'armature mobile malgré l'action du ressort et, par suite, le signal sera produit. Mais souvent le courant arrive bien affaibli par suite des pertes que nous venons de signaler, et

son action est impuissante à vaincre celle du ressort ; comme on ne peut affaiblir au-dessous d'une certaine limite la force de ce ressort duquel dépend le bon fonctionnement de l'appareil, il faut renoncer à faire marcher le récepteur directement par le courant de la ligne : on utilise alors l'action de ce courant en le faisant agir sur un appareil très-simple, exigeant peu de force et construit de manière qu'à chaque passage ou interruption du courant de ligne, le courant d'une pile locale passe dans le récepteur ou soit lui-même interrompu. Dans l'établissement d'un *relais* (c'est sous ce nom que l'on désigne la disposition que nous venons d'indiquer), la pile locale, dont le courant ne subit presque aucune perte, n'est jamais très-considérable. C'est ainsi que, dans une horlorge, la force qui entretient le mouvement du pendule, force qu'il faut économiser le plus possible, n'est pas employée directement à mouvoir le marteau de la sonnerie ; elle produit seulement un déclanchement qui n'exige qu'un très-petit effort, et c'est un autre moteur qui, rendu libre d'agir par le déclanchement, soulève le marteau tant qu'une action inverse ne vient pas arrêter son action jusqu'à la sonnerie suivante.

Ce n'est pas sous l'influence de la première manifestation électrique de l'état variable que l'appareil peut fonctionner ; il faut, dans tous les cas, que le courant ait une certaine intensité. Supposons même qu'il ne puisse agir que lorsqu'il aura atteint l'état permanent, état qui correspond au maximum ; supposons également que l'appareil ne reprenne sa première position que lorsque le courant sera absolument annulé et que l'on ne puisse, par suite, envoyer un second signal qu'à cet instant. L'établissement de l'état permanent sur toute la longueur du fil présente une durée de 0,02 seconde ; le retour à l'état neutre est quatre fois plus grand, soit 0,08. Supposons qu'on ait laissé le signal produit pendant 0,1 seconde pour permettre la lecture ou le tracé automatique, on voit que deux dixièmes de seconde suffisent à la rigueur pour la transmission d'un signal, si nous supposons un appareil parfaitement construit et ne présentant pas de temps perdus. On transmettrait ainsi cinq signaux à la seconde, trois cents à la minute.

Une autre cause de ralentissement dans l'envoi des signaux consiste en ce que le fer doux, qui est partie constituante de l'électro-aimant, ne perd pas instantanément son magnétisme. Mais,

en réalité, il n'est pas nécessaire que le courant ait atteint l'état permanent pour que le signal soit produit, et l'on peut envoyer une seconde fois le courant avant que le fil soit revenu complétement à l'état neutre et avant que le fer doux ait perdu tout son magnétisme. Aussi arrive-t-on par l'emploi de l'appareil imprimeur Hughes à la transmission de 30 à 40 mots par minute, soit en moyenne 150 à 200 signaux. Il est à remarquer que l'on arriverait à une rapidité encore plus grande si, sur la roue qui imprime, les lettres étaient disposées, non suivant l'ordre alphabétique, mais suivant une disposition plus rationnelle et basée sur les combinaisons que l'on rencontre le plus habituellement dans notre langue [1].

IV

La transmission de l'électricité dans les câbles sous-marins ne se fait pas aussi simplement ni surtout aussi rapidement que dans les fils aériens. Une expérience de M. Airy sur la vitesse de propagation l'a conduit au nombre de 4,300 kilomètres environ par seconde ; cette valeur est sept fois moins considérable que la plus petite que nous ayons déjà signalée ; elle est cent fois moindre que celle donnée par Wheatstone ; et l'étude de la transmission par le câble qui relie l'Amérique à l'Angleterre conduit à un chiffre encore moins fort. Le temps de la décharge du conducteur est augmenté dans une proportion plus considérable. Quelle est la cause de ces différences et quels moyens a-t-on employés pour surmonter dans la pratique les inconvénients, conséquence forcée d'une telle lenteur (lenteur relative, bien entendu) ? c'est là précisément ce dont nous allons nous occuper actuellement.

Si, faisant communiquer l'armature extérieure d'une bouteille de Leyde avec le sol, on réunit l'armature intérieure soit avec les conducteurs d'une machine électrique, soit avec l'un des pôles d'une pile dont l'autre pôle est en rapport avec la terre par un conducteur métallique, la bouteille se chargera, c'est-à-dire que le fluide positif, par exemple, que nous supposerons fourni par la source d'électricité, décomposera par influence le fluide neutre

[1] Voy. *Annales télégraphiques*. Année 1861.

de l'armature extérieure, attirera près de la matière isolante le fluide négatif et repoussera dans le sol le fluide positif. Cet effet se continuera tant que la tension électrique n'aura pas atteint une certaine valeur qui dépend de la nature et de l'épaisseur du corps isolant interposé (corps inducteur) ; cette tension maxima se produit avec une très-grande rapidité, mais non pas absolument d'une manière instantanée.

Si, sur le trajet d'un fil, nous interposons l'une des armatures d'un condensateur analogue à la bouteille de Leyde, l'autre armature étant reliée au sol, il faudra que ce condensateur soit entièrement chargé avant que l'état permanent puisse s'établir, puisque, en somme, une certaine quantité d'électricité aura été employée à produire l'induction ; l'augmentation de durée de l'état variable dépendra des dimensions du condensateur.

Or, c'est précisément l'effet produit dans les câbles sous-marins ; le fil représente l'armature intérieure, la masse liquide constitue l'armature extérieure, et l'enveloppe isolante de gutta-percha est le corps inducteur. Les dimensions en diamètre du fil et de l'enveloppe sont faibles, il est vrai, mais la longueur est considérable ; aussi la surface de l'armature intérieure atteint-elle le chiffre de 950,000 mètres, presque 1 kilomètre carré. Il est aisé de concevoir que la présence d'un condensateur de ces dimensions influe notablement sur la transmission.

Dès que le circuit est fermé, une très-petite quantité d'électricité se répand vraisemblablement jusqu'à l'extrémité du câble, mais elle est inappréciable même aux moyens d'investigation les plus délicats ; l'électricité qui est alors fournie par la pile ne se transmet plus pour ainsi dire par le conducteur, presque tout entière elle charge le condensateur de proche en proche ; ce n'est que lorsque la tension maxima est atteinte dans toute sa longueur, que le courant s'établit d'une manière permanente. On conçoit que lors du retour du fil à l'état neutre, un effet inverse se produit et que toute cette électricité accumulée met un temps que l'on ne peut négliger avant de disparaître. Comme pour les fils aériens, l'expérience a prouvé que le temps de la décharge est plus considérable que celui de la charge.

Des expériences instituées de diverses façons ont prouvé que les faits sont en réalité conformes à ce que nous venons d'exposer, que ce n'est pas là seulement une hypothèse gratuite. Fara-

day[1] effectua ces vérifications sur un câble de 100 milles de long immergé dans un canal ; lorsque le câble étant chargé, il le touchait avec la main pour lui enlever l'électricité qu'il contenait, il pouvait obtenir jusqu'à quarante secousses successives au lieu d'une seule qu'aurait donnée un fil aérien de même longueur. D'autre part, trois galvanomètres étaient placés respectivement aux deux extrémités et au milieu du câble : les aiguilles de ces instruments ne donnaient pas simultanément les mêmes indications ; il y avait un retard d'autant plus considérable, que l'on étudiait un galvanomètre placé plus loin de la pile pour la charge, plus près pour la décharge. Par des alternatives convenablement combinées de fermeture et de rupture, il se manifestait des mouvements opposés dans les galvanomètres, et les résultats étaient précisément ceux qu'une analyse du phénomène, basée sur les considérations que nous avons énoncées, avait prévus.

D'autres expériences non moins intéressantes sont dues à M. Varley, l'habile électricien anglais. Il a construit un câble offrant la même résistance au passage du courant que le câble transatlantique avant son immersion ; puis, par l'addition de condensateurs reliés à ce câble artificiel, il a pu reproduire tous les effets dus à l'action de la masse de liquide agissant par induction. L'étude de divers galvanomètres interposés sur cette ligne donnait des résultats concluants. Si, rien n'étant changé au fil conducteur et aux parties qui sont en communication avec lui, on éloigne les armatures extérieures des condensateurs, les galvanomètres sont déviés tout à fait simultanément ; ils reviennent avec le même accord à leurs premières positions lors de la décharge. Si les condensateurs sont complétés par le rapprochement des deux armatures, les galvanomètres ne se dévient que l'un après l'autre, et cela d'une façon bien nette ; il faut un temps notablement appréciable, pour que le courant se manifeste à l'extrémité de la ligne.

Si l'on interrompt la communication avec la pile, les galvanomètres continueront à indiquer pendant un certain temps encore l'existence d'un courant, ce courant ayant une intensité décroissante en tous les points, mais la décroissance sera beaucoup plus rapide près du point où la communication avec la pile a été interrompue.

[1] *Philosophical Magazine*, 1854

Lorsque l'état permanent est établi, si l'on vient à mettre en contact avec le sol l'extrémité du fil qui communiquait préalablement à la pile, le câble se décharge dans les deux sens, mais le galvanomètre situé du côté de la pile présente une déviation très-considérable en sens contraire de celle qu'il manifestait auparavant. La durée de la décharge est notablement moindre qu'elle ne l'était dans le cas précédent.

Si, lorsque l'on rompt la communication du fil de ligne avec la pile, on rétablit immédiatement la communication avec l'autre pôle de la même pile, la décharge s'effectue avec une rapidité encore plus grande, le courant de l'extrémité libre n'est pas sensiblement affecté par cette manœuvre, mais le courant inverse qui se produit à l'autre extrémité est naturellement plus grand que celui qui se manifestait dans le cas de la communication avec le sol.

On obtient une décharge très-rapide en disposant les appareils de telle sorte que, lorsque le courant contraire a atteint le milieu du câble, l'extrémité du fil par lequel arrive le courant contraire soit mise en contact avec le sol. On peut admettre que les deux quarts extrêmes de la longueur totale se déchargent directement par le sol, tandis que les deux quarts intermédiaires chargés d'électricités contraires se neutralisent réciproquement.

Dans une lecture faite par M. Varley à l'Institution royale de Londres, les différents effets que nous cherchons à indiquer étaient rendus nettement visibles à tout l'auditoire par la projection des aiguilles des galvanomètres faite sur un tableau au moyen de la lumière électrique. Outre le câble artificiel semblable au câble anglo-américain, il y avait en expérience un câble quarante fois plus résistant et sur lequel les expériences étaient encore plus concluantes.

M. Thomson, dans une leçon faite à l'Université de Glasgow et consacrée aux télégraphes sous-marins, a donné une comparaison du genre de celles que nous avons faites nous-mêmes en commençant et qui rend nettement les différents modes de transmission. On a quelquefois proposé et employé même un système de télégraphie consistant en un tube métallique rempli d'eau et fermé à ses deux extrémités par des pistons. L'eau étant supposée incompressible et le tube métallique rigide, il est clair que tout mouvement de l'un des pistons produirait forcément et immédiatement

un mouvement en tout semblable de l'autre piston, même sens et même durée. Si les hypothèses que nous indiquons, et qui sont presque vraies, étaient remplacées par d'autres conditions; si, par exemple, nous faisions usage d'un tube élastique en caoutchouc pour contenir le liquide, les résultats seraient complétement différents : la transmission du mouvement ne serait plus instantanée; le premier effet de la marche du piston serait de dilater le tube dans les environs; ce ne serait que lorsque les premières parties auraient atteint un diamètre dépendant de leur élasticité que l'effet pourrait se propager plus loin, et ainsi de proche en proche, en sorte qu'il faudra un temps fini pour communiquer l'action à l'autre piston, et que, pour un petit déplacement de celui-ci, le premier piston aura dû parcourir un espace assez considérable. On le voit, cet effet est en tout analogue à celui que nous avons signalé sur les câbles sous-marins.

V

En s'appuyant sur les principes que nous venons d'exposer, on peut se rendre compte des difficultés qui se présentent lors de l'exploitation d'une ligne sous-marine de grande longueur.

L'électricité qui, envoyée par la pile située en Irlande, doit faire naître le signal en Amérique, met un certain temps à arriver, l'état permanent s'établit non plus au bout de deux centièmes de seconde, mais après plusieurs secondes écoulées. Ce ne serait pourtant là qu'un bien minime inconvénient, si l'on pouvait envoyer un nouveau signal avant l'arrivée du précédent, comme cela peut se présenter pour l'action de la lumière et du son. Si l'on a une série de notes à faire entendre à grande distance, on peut émettre chacune d'elles avant même que la précédente soit arrivée à l'oreille de l'auditeur; celui-ci entendra, comme nous l'avons déjà dit, toutes ces notes distinctes et séparées : les ondes sonores se suivent sans se gêner, puisqu'elles marchent parallèlement avec la même vitesse. Nous avons vu qu'il n'en est pas de même pour le courant électrique, qui ne marche pas ainsi par ondes successibles, mais qui produit dans le conducteur tout entier un état de tension dont il subsiste partout quelques traces tant que ce courant n'a pas complétement cessé. Si donc nous envoyons

un second courant avant que toute trace du premier ait disparu, des tensions croissantes et décroissantes existeront simultanément en chaque point et donneront naissance à une tension résultante unique dont il sera difficile d'indiquer l'origine si on ne sait comment elle a été produite : l'envoi de semblables courants au point de départ donnerait, à la réception, des signes tout à fait incohérents et incompréhensibles.

Il faut donc de toute nécessité n'envoyer un courant que lorsque le câble est revenu à l'état neutre. On a vu qu'il s'écoule plusieurs secondes avant ce retour, et l'on ne pourrait, par suite, transmettre que quelques signaux à la minute, si l'on n'avait trouvé moyen de raccourcir notablement ce temps par l'emploi raisonné de plusieurs émissions de courants de sens contraire et de durée convenablement choisie. MM. Thomson et Varley ont proposé successivement deux, trois et même cinq courants se neutralisant en partie les uns les autres et ramenant rapidement le câble à l'état neutre.

Pour que la durée de la transmission soit diminuée le plus possible, il faut que les instruments de réception soient excessivement sensibles. On emploie actuellement un galvanomètre dont l'aiguille très-légère (elle pèse 25 milligrammes environ) porte un petit miroir ayant sensiblement le même poids. Par un dispositif de lampe et de lentille facile à concevoir, on projette sur un écran l'image d'un point lumineux ayant subi une réflexion sur le miroir. La position de cette image variera avec la direction prise par le miroir et par l'aiguille, direction qui changera en même temps que changera l'intensité du courant. On arrive à éteindre rapidement les oscillations de l'aiguille en plaçant à quelque distance un barreau aimanté. Les lois découvertes par Œrsted indiquent que l'aiguille sera déviée à droite ou à gauche, suivant le sens dans lequel le courant circulera dans le galvanomètre : l'image du point lumineux passera en même temps de part et d'autre de la position moyenne correspondant à l'équilibre lorsqu'il n'y a pas de manifestations électriques. Ces passages de l'image à droite ou à gauche ont été identifiés comme signification aux lignes et aux points qui, dans le système Morse, donnent les diverses lettres par leurs combinaisons. Les appareils ainsi construits sont tellement sensibles, qu'ils peuvent être employés pour déceler l'existence de courants très-faibles. On peut obtenir des signaux fort

nets en employant une pile de la plus petite dimension. Sir Latimer Clarke affirme qu'il suffirait de quelques gouttes d'acide versées sur un morceau de zinc pesant 1 ou 2 grammes pour établir une correspondance d'un rivage à l'autre de l'Océan ; seulement la transmission des signaux serait très-lente. Ce résultat, bien remarquable cependant, est encore dépassé peut-être par ce fait, démontré par sir W. Thomson, que l'on peut établir un télégraphe fonctionnant à très-grande distance au moyen de deux fils aboutissant à deux pièces, l'une d'argent, l'autre de zinc, placées sur la langue ; ces fils étant séparés à l'autre station, si l'on vient à les réunir, on éprouvera sur la langue une sensation spéciale due à la naissance du courant très-faible qui se produit alors ; cet effet pouvant se répéter autant de fois qu'on le veut, on est en possession d'un véritable télégraphe.

M. Varley est arrivé à assurer une rapidité de transmission encore plus considérable : le procédé qu'il a employé a l'avantage de neutraliser les influences perturbatrices des aurores boréales et des *orages magnétiques*. A cet effet, sur le fil qui à l'arrivée se rend à la terre, il adapte l'une des extrémités du fil d'un galvanomètre semblable à celui que nous venons de décrire, l'autre extrémité étant en contact avec une armature d'un condensateur dont l'autre armature communique aussi avec le sol. Le courant une fois établi, le condensateur chargé, l'aiguille du galvanomètre retombera à la position moyenne d'équilibre, tandis qu'un galvanomètre placé sur le fil de ligne indiquera par sa déviation l'intensité du courant ; cela tient à ce que le condensateur, étant chargé, ne peut plus recevoir d'électricité. Si le courant du fil de ligne augmente ou diminue, l'aiguille du galvanomètre du condensateur se déplacera dans un sens ou dans l'autre, car le condensateur n'est plus en équilibre avec la nouvelle intensité du courant et devra acquérir ou perdre une certaine quantité d'électricité ; lorsqu'il aura atteint la charge correspondant à l'intensité actuelle, son galvanomètre reprendra la position moyenne. En sorte que ce galvanomètre du condensateur indique, *non pas l'intensité du courant*, *mais les variations d'intensité*. Dès lors il n'est plus nécessaire de décharger complétement le câble avant l'envoi d'un nouveau signal, il suffit de diminuer ou d'augmenter l'intensité du courant qui circule ; on pourra donc obtenir un plus grand nombre de signaux dans le même temps.

Ce perfectionnement rend insensibles les effets provenant de l'électricité atmosphérique ou des courants terrestres. Ceux-ci, en effet, quoique susceptibles de produire des effets considérables, n'agissent que graduellement, et leurs variations d'intensité ne sont guère sensibles qu'au bout de plusieurs minutes. Ce n'est donc que lentement qu'ils changent l'état électrique du câble : ce changement serait rendu visible sur le galvanomètre du fil de ligne par une variation constante de la déviation. Mais dans le galvanomètre du condensateur, aucun effet ne se manifestera, car la variation de l'intensité du courant dans le câble étant très-lente, le courant allant du câble au condensateur sera très-faible et son action sur le galvanomètre correspondant sera nulle.

Il nous semble difficile de concevoir une manière plus simple de satisfaire à la condition d'une transmission rapide (M. Varley avait garanti huit mots par minute ; cette limite a été fortement dépassée), et en même temps de rendre l'appareil indépendant des perturbations électriques nombreuses dont notre globe et notre atmosphère sont si souvent le théâtre.

Nous voulons, en terminant, insister sur ce fait que les divers perfectionnements que nous venons de décrire ont été introduits par suite de considérations théoriques seulement et que l'application du calcul, dont on méconnaît quelquefois l'utilité, a fait prévoir toutes les actions que l'expérience a démontrées, mais seulement plus tard.

C.-M. Gariel.

IV

NOTICE BIOGRAPHIQUE.

POUILLET.

Pouillet (Claude-Servais-Mathias) naquit à Cusance (Doubs) le 16 février 1790. Il fit ses premières études au lycée de Besançon à l'époque même de la création de l'Université, fut ensuite professeur de mathématiques pendant deux ans au collége de Tonnerre, et entra en 1811 à l'École normale, qui n'avait encore

qu'une année d'existence. Là, ses rares facultés et l'élégance de son esprit le firent distinguer aussi bien dans les lettres que dans les sciences. Il fut, dès sa sortie de l'école, professeur de physique au collége Bourbon, puis maître de conférences à l'École normale, examinateur d'entrée et professeur à l'École polytechnique. En 1818, à l'âge de vingt-huit ans, il fut appelé à suppléer Biot, son illustre maître, dans la chaire de physique à la Faculté des sciences, chaire qu'il a occupée avec éclat pendant trente-quatre ans. En 1829, il devint professeur de physique appliquée au Conservatoire des arts et métiers qu'il administra jusqu'en 1849, et dont il quitta l'enseignement en 1852.

Enfin, il entra à l'Académie des sciences le 17 juillet 1837, et la même année il fut nommé à la Chambre des députés par les électeurs du Jura, qu'il continua de représenter jusqu'à la révolution de Février. Il fut aussi pendant plusieurs années membre du conseil royal de l'instruction publique.

En 1852, M. Pouillet crut devoir résigner toutes ses fonctions publiques ; il vécut pendant la plus grande partie de l'année à sa maison de campagne d'Épinay-sur-Seine, et dans cette retraite il consacra ses dernières années au culte de la science. Il succomba le 14 juin 1868 à une longue et cruelle maladie. Cette mort a été une perte douloureuse pour l'Académie des sciences, dont il a été pendant trente ans un des membres les plus assidus et les plus dévoués; elle a vivement affecté tous les amis de la science, qu'il avait enrichie de ses découvertes et enseignée avec une éloquence restée célèbre.

Dans toutes les fonctions qu'il a remplies, M. Pouillet a laissé des marques d'un caractère droit, d'une conscience honnête, d'une intelligence rapide et souple. Il pouvait se livrer à l'étude de toutes les questions et traiter les sujets les plus variés avec un langage empreint à la fois d'une rigueur qu'il devait à la culture des sciences exactes, et d'une élégance qui tenait à la nature même de son esprit. Au milieu de ces occupations si nombreuses, de cette existence si remplie, il savait aussi trouver des loisirs pour continuer les recherches scientifiques auxquelles il devait ses premiers succès.

M. Pouillet a publié de nombreux travaux ; les plus importants sont relatifs aux lois des courants électriques et à la physique du globe, qui paraît avoir été l'objet privilégié de ses études.

A partir de 1828, il a cherché par expérience les lois des courants thermo-électriques ; il a démontré, par des méthodes simples et élégantes, que l'intensité du courant est la même en tous les points du circuit, qu'elle est en raison inverse de la longueur du fil parcouru si la longueur varie seule, et proportionnelle à la section du fil si la longueur et la nature ne changent pas. Il en résulte que les longueurs de deux fils de natures différentes et de même section qui peuvent se substituer l'un à l'autre dans un même circuit sont dans un rapport constant. Si donc on prend comme terme de comparaison, comme étalon, un fil de platine de 1 mètre de longueur et de 1 millimètre de diamètre, on pourra déterminer les longueurs des différents corps qui sous la même section produisent le même effet ; ces longueurs mesureront les *conductibilités électriques* des différents corps. M. Pouillet a donné une méthode qui permet d'arriver facilement à ce résultat. Il a publié la première table des conductibilités, et montré que les liquides, tout en suivant les mêmes lois, opposent au passage des courants une résistance plusieurs millions de fois plus grande que celle des métaux bons conducteurs. Si le courant produit par une pile peut, sur une partie de son trajet, suivre deux chemins différents, le flux électrique se partage à la bifurcation des chemins, et les lois qui précèdent permettent d'évaluer l'intensité du courant *dérivé* sur l'une des routes secondaires. M. Pouillet a vérifié, par les méthodes les plus variées, l'accord de la théorie avec l'expérience, ce qui était une nouvelle manière de vérifier les lois elles-mêmes. Enfin, en 1837, il a étendu ces lois aux courants hydro-électriques en se servant de la pile à courant constant que Daniell venait de découvrir.

Les lois que nous venons d'énumérer ont, pendant quelque temps, porté en France le nom de *lois de Pouillet*, qu'elles ne devaient pas conserver.

En 1826, Ohm donna, dans le *Journal de Schweigger*, une démonstration expérimentale des mêmes lois, et il publia, en 1827, un ouvrage devenu célèbre, dans lequel ces lois sont déduites d'un principe unique, l'assimilation de la propagation de l'électricité à la propagation de la chaleur. Ces travaux sont incontestablement antérieurs à ceux de M. Pouillet, mais les expériences d'Ohm sont peu concluantes, et la base de sa théorie est difficile à justifier autrement que par le succès. Au surplus, l'ou-

vrage d'Ohm était alors inconnu en France, peu répandu et même peu estimé en Allemagne. Les expériences de M. Pouillet ont beaucoup contribué à fixer l'attention des savants sur les travaux de son devancier et à les mettre en faveur. Les lois des courants électriques portent aujourd'hui à juste titre le nom de *lois d'Ohm*, car Ohm les a énoncées le premier et les a rattachées à un principe unique à l'aide duquel on peut aborder bien d'autres questions plus difficiles sur la propagation de l'électricité. Toutefois la postérité doit être équitable et reconnaître que M. Pouillet a découvert les mêmes lois de son côté par l'expérience pure, et que ses méthodes en ont donné la meilleure démonstration.

Dans le cours de ces recherches, M. Pouillet a imaginé deux instruments aussi précieux pour l'étude des courants que la balance de Coulomb dans les expériences d'élctricité statique : ce sont la *boussole des sinus* et la *boussole des tangentes*. Le galvanomètre, qui a été perfectionné successivement par Schweigger, Nobili et Melloni, se compose essentiellement d'une bobine traversée par un courant et d'un système d'aiguilles aimantées dont la position d'équilibre dépend de l'action de la terre et de l'intensité du courant. Les déviations des aiguilles sont liées à l'intensité du courant par une loi compliquée, et chaque instrument doit être gradué à part par des méthodes plus ou moins longues. M. Pouillet s'est proposé de construire un galvanomètre dans lequel il existerait une relation simple entre l'intensité du courant et la déviation correspondante ; il a donné au problème deux solutions extrêmement ingénieuses, et ses boussoles sont aujourd'hui entre les mains de tous les électriciens.

Sans faire aucune hypothèse sur la nature du flux électrique, en admettant simplement, ce qui paraît assez évident, que la *quantité* d'électricité qui circule dans un fil est proportionnelle au temps, quelle que soit d'ailleurs la nature de cet agent, M. Pouillet a démontré que l'intensité magnétique est proportionnelle à la quantité d'électricité. Pour cela il place sur le trajet du courant une roue dentée qui permet d'établir et d'interrompre le courant pendant des intervalles de temps égaux. Quand la roue tourne lentement, l'aiguille du galvanomètre oscille sans s'arrêter ; mais à mesure que la rotation s'accélère, l'amplitude des oscillations diminue et l'aiguille s'arrête, indiquant une intensité moitié moindre que si le courant était établi d'une manière permanente.

De plus, quelque rapide que soit la rotation, l'aiguille demeure immobile, ce qui prouve que la durée de la fermeture du circuit, si petite qu'on la fasse, suffit à l'établissement intégral du courant; M. Pouillet a trouvé que cette propagation intégrale se fait encore en $\frac{1}{5000}$ et même $\frac{1}{7000}$ de seconde, dans un circuit métallique de plusieurs milliers de mètres de longueur.

Avec des piles d'énergies différentes, M. Pouillet a observé aussi que le temps nécessaire pour décomposer 1 gramme d'eau dans un voltamètre est en raison inverse de l'intensité du courant, c'est-à-dire que les décompositions chimiques sont proportionnelles à l'intensité du courant ou à la quantité d'électricité.

Enfin, en étudiant les conditions mêmes de la production de l'électricité dans les piles thermo-électriques, M. Pouillet a démontré que dans les couples dont les soudures voisines sont à des températures différentes, l'intensité du courant est à peu près proportionnelle à la différence des températures, mais que cette proportionnalité est plus ou moins exacte, suivant la nature des métaux associés, et que, pour un couple bismuth et cuivre, elle se maintient depuis la température de 80° au-dessous de zéro jusqu'à 100° et au-dessus. On voit, par ce résumé rapide, que, le nom de M. Pouillet conservera toujours une place importante dans l'histoire de l'électricité.

Ses travaux sur la physique du globe n'ont pas moins d'intérêt ni moins d'importance. D'abord à la recherche des causes de l'électricité atmosphérique, il a démontré que dans la combustion du charbon il se produit toujours de l'électricité, négative sur le charbon, positive sur l'acide carbonique formé. De même dans la combustion de l'hydrogène, ce gaz s'électrise encore négativement, et l'oxygène positivement ; et l'on est assez disposé à accepter le principe général posé par M. Pouillet que *toutes les fois que l'oxygène se combine à un corps, il se charge d'électricité positive, et le corps d'électricité négative*. Il a même pu, en faisant germer des plantes, recueillir les traces d'électricité qui se produisent dans l'acte de la végétation. Or, un grand nombre d'oxydations et de phénomènes chimiques s'accomplissent dans l'air, c'est là le siége de la respiration des animaux et des plantes; tous ces phénomènes interviennent sans aucun doute dans la production de l'électricité atmosphérique. M. Pouillet avait cru trouver une autre source d'électricité dans l'évaporation des eaux de la mer ; il

a observé qu'en projetant de l'eau dans un creuset de platine porté au rouge, l'évaporation du liquide est généralement accompagnée d'électricité: la vapeur est chargée d'électricité positive si le liquide contient un acide ou un sel en dissolution, d'électricité négative si la dissolution est alcaline, et l'on n'obtient rien avec de l'eau pure. Toutefois, différents physiciens ont montré par des expériences postérieures que la production d'électricité dans cette circonstance tient plutôt au frottement des gouttelettes liquides projetées contre les parois du vase, qu'au phénomène de l'évaporation.

Les recherches de M. Pouillet sur la chaleur solaire ont ouvert une voie dans laquelle il n'a pas encore eu de successeur; mais la faveur croissante des observations météorologiques y ramènera l'attention des savants, et les résultats qu'il a obtenus serviront un jour de base à la science de la météorologie. A l'aide d'un instrument qu'il a appelé *pyrhéliomètre*, M. Pouillet évalue la quantité de chaleur que reçoit en une seconde une plaque placée perpendiculairement sur le trajet des rayons solaires. Cette quantité de chaleur varie suivant diverses circonstances ; mais, quand le ciel est sans nuages, elle dépend surtout de la hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon. On peut, avec un grand nombre d'expériences, déterminer l'influence de l'épaisseur des couches que traversent les rayons solaires, calculer la quantité de chaleur que recevrait la plaque si le Soleil était au zénith, et même si la plaque était placée aux limites de l'atmosphère. Les bases de ces corrections difficiles ne sont pas à l'abri de toute objection, mais le caractère général du résultat n'est pas douteux. M. Pouillet a trouvé ainsi que l'atmosphère la plus pure absorbe environ le quart de la chaleur qu'elle reçoit du Soleil quand il est au zénith, que la portion de l'atmosphère qui recouvre tout l'hémisphère éclairé absorbe près de la moitié de la chaleur envoyée par le Soleil et ne transmet à la surface du sol que l'autre moitié. Enfin la chaleur totale que l'atmosphère terrestre reçoit du Soleil pendant le cours d'une année serait capable de fondre sur la surface du sol une couche de glace de 31 mètres d'épaisseur. On peut même aller plus loin et évaluer la chaleur rayonnée par le Soleil dans tous les sens ; on trouve qu'elle serait capable de fondre en un jour une couche de glace qui recouvrirait le Soleil sous une épaisseur de 4 lieues 1/4. Cette perte énorme pourrait, en supposant la chaleur spécifique

du Soleil égale à celle de l'eau, abaisser sa température de plus de 1° en un an, de plus de 100° en un siècle. Or, les expériences photométriques de MM. Fizeau et Foucault ont montré que la température du Soleil n'est pas hors de comparaison avec les températures que nous pouvons réaliser dans les combustions ; un pareil refroidissement aurait sans doute laissé des traces dans l'histoire de notre globe et même dans les traditions des peuples, si une cause étrangère n'intervenait pour entretenir la température du Soleil malgré les pertes continuelles dues au rayonnement.

Enfin M. Pouillet s'est proposé d'aborder par expérience un problème encore plus général, celui de la *température de l'espace.* Posé en ces termes, le problème paraît insoluble parce que les espaces interplanétaires étant dénués de matière pondérable, on ne peut pas concevoir qu'ils aient une température déterminée. Mais, quand on assigne une valeur à la température de l'espace, comme le dit M. Pouillet lui-même, « on n'exprime rien autre chose, sinon que la chaleur totale qui arrive à la Terre de la part de tous les corps célestes, excepté le soleil, est équivalente en quantité à celle qui serait émise sur le globe de la Terre par une enceinte à pouvoir émissif maximum, dont les parois seraient maintenues à cette température. » Fourier a, le premier, montré qu'il est nécessaire de tenir compte de la chaleur de l'espace pour expliquer les phénomènes des températures terrestres, et il a évalué à 50° ou 60° au-dessous du zéro la température de cette enceinte fictive. M. Pouillet a imaginé, pour ce genre de recherches, un instrument qu'il a appelé *actinomètre ;* c'est un thermomètre que l'on soustrait d'une manière presque absolue au rayonnement de la surface du sol, et dont les indications dépendent de la chaleur qu'il rayonne vers le ciel et de la température des couches d'air avec lesquelles il est en contact. Des observations faites avec l'actinomètre il déduit, par une suite de considérations ingénieuses, la température de l'espace, qu'il évalue à 140° au-dessous de 0°. Il en déduit aussi une autre conséquence remarquable, c'est que la quantité de chaleur que la terre reçoit de l'espace dans le cours d'une année serait capable de fondre une couche de glace qui couvrirait le sol sous une épaisseur de 26 mètres ; de sorte que la chaleur totale reçue par la terre pourrait fondre en un an une couche de 57 mètres de glace. Il y a lieu de s'étonner que la chaleur en-

voyée par le Soleil à la terre soit si peu supérieure à celle qui provient de l'espace, mais il faut remarquer que le Soleil n'occupe que les 5 millionièmes de la voûte céleste, et que, pour produire le même effet, il doit émettre deux cent mille fois plus de chaleur qu'une portion du ciel de même surface apparente.

J'ai cru devoir rappeler tous ces résultats, non pas qu'ils soient définitifs, car la rigueur des déductions diminue rapidement à mesure qu'on s'éloigne de l'expérience, mais parce que la question est importante, difficile; que M. Pouillet a été le premier à l'aborder avec tant de hardiesse, et que ses tentatives sont un peu méconnues aujourd'hui.

Outre ces travaux que je viens d'exposer un peu longuement et qui constituent ses principaux titres scientifiques, M. Pouillet a publié un grand nombre de mémoires sur toutes les branches de la physique. En optique, il fit d'abord avec Biot des recherches sur les phénomènes d'interférence et de diffraction dans les milieux autres que l'air; il étudia les anneaux colorés des lames épaisses, et imagina un procédé très-simple pour mesurer le grossissement des lunettes. Il donna le premier le moyen d'évaluer les températures très-élevées, comme la température de fusion du fer, et les températures très-basses, comme celle du mélange d'éther et d'acide carbonique solide; il imagina à ce sujet deux instruments nouveaux, le pyromètre à air, fondé sur la dilatation de l'air dans un réservoir de platine, et le pyromètre électrique, fondé sur les courants produits par l'échauffement d'une soudure de fer et de platine. Il eut ainsi l'occasion de rectifier les idées vagues que l'on avait sur les températures élevées, et ses méthodes sont encore employées aujourd'hui. Il fit différentes recherches sur la dilatation des gaz, leur compressibilité, la densité des vapeurs, etc. En 1844, il imagina un procédé très-ingénieux pour mesurer des intervalles de temps extrêmement courts, comme la durée du choc des corps élastiques. Il fait remarquer pour cela que lorsqu'un courant agit sur un galvanomètre pendant un temps très-court, l'aiguille reçoit une impulsion qui lui fait parcourir un certain arc. L'arc d'impulsion dépend de la durée du courant et lui est à peu près proportionnelle; on peut d'ailleurs graduer l'appareil avec des courants de durées connues et l'employer ensuite à déterminer les durées elles-mêmes. Il a trouvé ainsi que la balle d'un fusil, par exemple, met environ $\frac{1}{140}$ de

seconde pour parcourir la longueur du canon. Il publia, en 1859, un mémoire important sur la densité de l'alcool et celle des mélanges alcooliques et sur la graduation des alcoomètres. Enfin, en 1865, il donna une nouvelle méthode pour déterminer les pôles des aimants, l'action qui s'exerce entre les pôles de deux aimants à l'unité de distance et la valeur absolue des forces magnétiques du globe ; cette méthode mérite d'être expérimentée dans les observations magnétiques parallèlement à la méthode célèbre de Gauss, universellement adoptée aujourd'hui. M. Pouillet voulait publier encore un mémoire à ce sujet, et il a écrit dans ses cahiers d'expériences quelques lignes touchantes sur la crainte qu'il éprouve de ne pouvoir pas les terminer avant de mourir :

« La grande question maintenant est de savoir si ce troisième clou, ouvert jeudi dernier, me permettra, dans une semaine ou deux, de me baisser et de marcher assez passablement pour que je puisse descendre à ma chère boussole et travailler aux expériences pendant huit jours environ. — Si le ciel m'accorde cette faveur, je pourrai lire ou plutôt présenter mon mémoire à l'Académie des sciences dans la première quinzaine de novembre, ce qui me sera un grand soulagement. (10 octobre 1867.) »

Ce mémoire vient d'être publié dans les *Comptes rendus* de l'Académie des sciences. M. Pouillet a laissé encore plusieurs notes sur le magnétisme et sur l'électricité statique, dont on pourra peut-être tirer quelque parti.

A l'Académie des sciences, la parole de M. Pouillet avait acquis une autorité qu'il devait à l'intégrité de son caractère et à la finesse de son jugement. Il y remplissait ses devoirs avec un grand zèle ; il était l'un des membres les plus actifs et le rapporteur de la commission des alcoomètres et de celle des paratonnerres, dont il a hâté les dernières réunions en prévision de sa fin prochaine ; il a fait en outre un grand nombre de rapports sur les objets les plus divers.

Quelque brillante que fut la carrière scientifique de M. Pouillet, elle n'a peut-être pas égalé l'éclat de son enseignement. C'est un des hommes qui ont le plus contribué à divulguer la science et à provoquer l'ardeur des jeunes savants. Au Conservatoire des arts et métiers, il a créé l'enseignement populaire de la physique ; à la Sorbonne, il a inauguré ces belles expériences, portées aujourd'hui à un si haut degré de perfection, et destinées à mettre sous

les yeux d'un public nombreux des phénomènes qui semblaient devoir rester le secret des laboratoires. Son talent d'exposition est resté comme un modèle inimitable. « Très-sobre de gestes, très-simple dans son élocution qu'il ne précipitait jamais, il paraissait s'entretenir avec ses auditeurs plutôt que leur faire une leçon ; il donnait, dans le discours, à chacune de ses paroles une place si naturelle, qu'on aurait cru pouvoir les deviner, s'il ne les avait pas prononcées [1]. » Et cependant rien n'était sacrifié au désir de plaire ; les théories les plus élevées, les considérations les plus délicates étaient exposées avec tant de clarté, sans rien perdre de leur rigueur, que tout le monde comprenait sans effort. C'est là un genre d'éloquence des plus rares ; il ne laisse malheureusement qu'une gloire éphémère destinée à s'éteindre avec la génération qui l'a applaudie. M. Pouillet aimait à joindre l'exemple au précepte, il conduisait dans son laboratoire ses auditeurs les plus zélés, leur montrait les appareils qu'il avait construits de sa main et qu'il savait utiliser comme Fresnel. Il aurait pu aussi leur ouvrir ses cahiers d'expériences dans lesquels les idées de la veille sont discutées et combattues le lendemain comme s'il s'agissait d'opinions étrangères, de manière à n'être livrées à la publicité qu'après avoir subi l'examen le plus sévère.

M. Pouillet a publié un traité de physique où l'on retrouve l'élégance et la clarté de son enseignement. Ce traité a eu sept éditions en France, et la *Physique* de M. Müller si répandue en Allemagne et si justement estimée, n'a été d'abord qu'une traduction du livre de M. Pouillet. Dans un autre ouvrage destiné à la jeunesse, on trouve les démonstrations les plus ingénieuses pour abaisser la science, sans la dénaturer, jusqu'à la portée des jeunes intelligences.

Enfin, comme homme privé, M. Pouillet avait tous les charmes d'un autre siècle ; sa conversation était toujours élevée, élegante sans recherche, pleine de finesse et de bienveillance. Il avait pour les siens un vif attachement et une générosité sans bornes ; il aimait à s'entourer de jeunes gens ayant le goût des recherches scientifiques, les accueillait avec bienveillance et les encourageait de ses conseils. Il eut à subir une cruelle épreuve en perdant ses deux enfants dans l'intervalle d'une année, un fils âgé de dix-

[1] Discours de M. H. Sainte-Claire Deville, sur la tombe de M. Pouillet.

sept ans, doué des plus heureuses facultés, et une fille âgée de vingt ans dont la mort de son frère avait précipité la fin. M. Pouillet s'était remis ensuite à la science avec une nouvelle ardeur pour y chercher non pas l'oubli, mais un adoucissement à ses peines. Il s'était beaucoup préoccupé de l'éducation de son fils ; c'est pour lui qu'il avait écrit son Résumé élementaire de physique, et il avait le projet de composer un traité d'économie politique à son usage, sous forme de *Lettres d'un père à son fils*. Dans une note qui porte la date du 28 juin 1850, M. Pouillet a donné le plan de cet ouvrage, auquel il n'avait pas renoncé, et on y trouve les lignes suivantes, qui peuvent servir à peindre la nature de ses idées et la profondenr de son chagrin. « Mon vœu le plus ardent était de faire de mon fils un homme de bon cœur et de bon jugement, surtout un homme généreux et dévoué à son pays, donnant partout le bon exemple et toujours plus occupé à faire le bien qu'à briller ou à faire parler de lui. — *Deus abstulit.* — Cependant mes jours s'écoulent encore avec lui, il est toujours présent à ma pensée ; ces *Lettres* seront un moyen d'entretenir et de cultiver un souvenir qui m'est si cher, et le seul peut-être d'empêcher qu'il ne soit stérile ; en France la jeunesse se précipite si volontiers dans les routes les plus fausses, les plus extravagantes, que ces *Lettres* contribueront peut-être à maintenir dans la bonne voie quelques intelligences d'élite, et je croirais par là avoir rendu le plus éminent service à mon pays. Je ne retrouverai pas mon fils, mais peut-être parviendrai-je à former quelques jeunes gens qui lui ressemblent. »

E. MASCART.

V

LÉON FOUCAULT.

Il est peu de découvertes qui aient eu dans ces dernières années autant de retentissement que la démonstration du mouvement de rotation de la terre par le déplacement du plan d'oscillation du pendule ; tout le monde s'en occupa et non point seulement les savants. Il y avait dans cette expérience une idée neuve, origi-

nale, qui frappait l'esprit et appelait l'attention ; l'appareil était d'un extrême simplicité, la preuve apparaissait visible, j'allais presque dire matérielle ; tout, jusqu'au mode grandiose d'exécution, rendit cette découverte populaire. C'était l'un des premiers travaux d'un jeune physicien, de Léon Foucault, que de récentes expériences sur la propagation de la lumière avaient déjà fait connaître et qui affirmait brillamment sa personnalité, son génie, en trouvant une méthode nouvelle et s'écartant complétement des procédés connus jusqu'alors : la science pouvait compter sur ce jeune physicien. Il remplit les espérances qu'on avait fondées sur lui, il les aurait dépassées peut-être, si la mort n'était venue l'enlever prématurément, alors que son esprit, son intelligence étaient en pleine force; que ses études précédentes, ses profondes réflexions l'avaient mis sur la voie de travaux pour lesquels « il lui fallait encore vingt ans, » ainsi qu'il le disait lui-même, travaux qui, sans aucun doute, auraient éclairci bien des questions obscures. Ses découvertes si variées, si complètes, permettent d'affirmer qu'il aurait résolu tous les problèmes qu'il voulait aborder, problèmes qui s'imposaient à lui par leur importance.

Nous allons essayer de donner une idée des principaux travaux de ce savant éminent, chez lequel les admirables qualités d'expérimentateur qui se révèlent dans toutes ses inventions ont été associées à un esprit théorique d'une puissance remarquable, de ce physicien qui avait si étrangement l'intuition de la mécanique, et dont les découvertes sont de première importance à quelque partie de la science ou de ses applications qu'elles appartiennent.

Nous avons dit quelques mots déjà de l'invention la plus populaire de L. Foucault, de la grande expérience du pendule dont il nous a donné lui-même la description :

« La notion du mouvement de rotation de la terre est aujourd'hui tellement répandue, elle a si victorieusement passé du domaine de la science pure dans celui des idées vulgaires, qu'il pourra sembler superflu de chercher à en donner une preuve nouvelle. Cependant, si l'on considère que les principaux arguments à l'appui de ce mouvement sont tirés de l'observation des phénomènes célestes, on accordera peut-être encore quelque attention au résultat d'une expérience qui permet de conclure à la rotation de la terre par l'inspection d'un phénomène produit à domicile et sans jeter un coup d'œil sur le ciel. De même que, en pleine

mer, à perte de vue du rivage, le pilote, les yeux fixés sur le compas, prend connaissance des changements de direction accidentelle imprimés au navire, de même l'habitant de la terre peut se créer, au moyen du pendule, une sorte de boussole arbitrairement orientée dans l'espace absolu et dont le mouvement absolu lui révèle le mouvement réel de la terre qui le supporte. Quand l'aiguille aimantée, qui ne cesse de viser vers le nord, a l'air de tourner dans un sens ou dans l'autre, on en conclut que c'est le navire qui vire de bord en sens opposé. En voyant tout à l'heure le plan d'oscillation d'un pendule libre dévier constamment dans un sens déterminé, nous conclurons également, en présence de ce plan qui ne doit pas tourner, que c'est nous qui tournons en sens opposé [1]. »

Lorsqu'un pendule dont la construction se rapproche le plus possible du pendule simple de la mécanique (un point matériel pesant à l'extrémité d'un fil inextensible et sans pesanteur) est abandonné sans vitesse à l'action de la pesanteur, il doit, en vertu du principe de l'inertie, osciller dans un plan invariable absolument; c'est ce que la théorie indique, c'est là *ce plan qui ne doit pas tourner* et dont le mouvement apparent doit nous révéler le mouvement de notre globe. L. Foucault s'assura de la réalité *expérimentale* de cette conséquence du principe de l'inertie dans diverses conditions. Puis, sûr du point de départ, il énonça par avance non-seulement l'existence du phénomène qui nous occcupe, mais encore les lois de ce phénomène. L'expérience exécutée dans des conditions variables vérifia toutes ses prévisions, fait d'autant plus remarquable que c'était en s'appuyant sur un principe non démontré, mais qu'il tenait pour évident, qu'il avait calculé ces lois.

L'expérience fut répétée publiquement au Panthéon : un pendule fixé au point le plus élevé de la coupole, et dont le fil de suspension avait une soixantaine de mètres de longueur, exécutait sa double oscillation en un quart de minute. Pendant ce temps, si court cependant, l'effet était déjà nettement visible et le pendule paraissait s'être déplacé latéralement de 2 millimètres et demi. Pour que ce déplacement pût être facilement apprécié, le pendule portait à sa partie inférieure une tige qui venait laisser sur

[1] *Journal des Débats*, 31 mars 1851.

un bourrelet de sable la trace de son passage. A chaque oscillation, la crête de ce bourrelet était régulièrement enlevée, témoignant ainsi de la persistance de ce déplacement, qu'on ne pouvait dès lors attribuer à des actions perturbatrices.

L'expérience était vraiment saisissante, et l'on possédait enfin une démonstration directe du mouvement de rotation de la terre, démonstration que la Place avait indiquée comme un des désidérata de la mécanique. Ce n'était point une preuve accessible seulement aux initiés de la science, il suffisait d'avoir des yeux pour se rendre compte du fait. Les savants répétèrent cette expérience, la varièrent, y appliquèrent le calcul qui, non sans peine, expliqua un phénomène qu'il n'avait pas prévu ; mais ces travaux sont peu connus. Le pendule de Foucault, après avoir de nouveau attiré l'attention aux Expositions de 1855 et 1862, est entré comme expérience fondamentale dans l'enseignement classique.

Guidé par les mêmes considérations théoriques qu'il avait étendues à divers égards, L. Foucault présenta l'année suivante à l'Académie un appareil qui, pour être moins connu, n'est pas moins remarquable : nous voulons parler du *gyroscope*[1].

Le gyroscope est fondé sur cette application du principe de l'inertie que si un corps est libre de se mouvoir dans tous les sens autour d'un point, il devra conserver sa position absolue dans l'espace et sembler se déplacer, par suite, si on le compare à des corps mobiles comme la terre. La difficulté était, non pas de rendre un corps entièrement libre de tourner autour d'un point fixe, la suspension à la Cardan donne une solution de ce problème, mais d'annuler l'effet des résistances de toute nature qui détruisent le mouvement relatif que l'on devrait observer : quelque parfaitement construit que soit l'appareil, il y aurait des frottements aux points de suspension, puisque la pesanteur agirait sur les pièces diverses. Foucault eut l'idée remarquable de communiquer préalablement au corps un rapide mouvement autour de son axe de figure ; la conséquence de ce mouvement, qui n'augmente en rien les frottements ou autres résistances, est d'assurer la fixité complète de la position absolue, car ce mouvement autour de l'axe de figure doit continuer indéfiniment autour de la même ligne

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 27 septembre et 26 octobre 1852.

tant que l'on n'a pas fait varier les vitesses de tous les points, ainsi qu'il résulte des travaux de Poinsot : ces variations exigent la production d'un effort considérable augmentant avec la vitesse même de rotation. Celle-ci étant très-grande, le frottement ne peut développer une force suffisante, et la rotation doit continuer autour de la même ligne, quelle que soit la durée de l'expérience.

Le gyroscope consiste en un disque plein présentant sur ses bords un renflement annulaire de grande épaisseur : une tige placée perpendiculairement à ce disque passe exactement en son centre ; c'est autour de cette tige placée sur des tourillons faisant partie d'un double système de cadres mobiles que le corps prend un mouvement de rotation d'une vitesse de deux à trois cents tours par seconde. L'appareil est exactement centré, les frottements diminués jusqu'à leur limite inférieure, et le tout est si bien agencé que, le disque étant au repos, un souffle suffit pour le déplacer ; cette mobilité extrême ne suffirait pas cependant pour le soustraire au mouvement d'entraînement de la terre ; mais, si le disque est animé du rapide mouvement que nous avons indiqué, il faudrait un violent effort pour changer la direction de son axe, et s'il est abandonné à lui-même, restant fixe *absolument*, il semblera se déplacer par rapport aux objets qui l'entourent et que la terre entraîne ; ce mouvement est lent, et la rotation cessant après quelques minutes, l'on ne peut observer de bien grands déplacements : ils sont visibles cependant, et l'on s'en rend un compte exact en les étudiant au microscope.

L'expérience est souvent faite d'une manière un peu différente : les mouvements de l'axe du tore sont restreints successivement dans le plan horizontal et dans le plan vertical. Si cet axe ne peut sortir du plan horizontal, il se déplacera jusqu'à se trouver dans la direction de la méridienne ; s'il ne peut que se mouvoir dans le plan d'un méridien, il s'inclinera de manière à être parallèle à la ligne des pôles. Ces deux expériences permettraient donc de trouver les coordonnées géographiques d'un point du globe, sans aiguille aimantée et sans observations astronomiques.

Ces résultats sont des plus curieux ; ils confondent presque l'imagination et seraient à peine croyables, s'ils n'étaient certains. Un corps animé simplement d'un mouvement de rotation suffit pour déterminer avec certitude une direction de l'espace, de même

que le fil à plomb définit la verticale d'un lieu. Pour expliquer ce dernier phénomène, il fallut avoir recours à l'existence de l'attraction universelle que l'on peut remplacer, dans ce cas, par une seule force dirigée vers le centre de la terre ; l'explication ne vint qu'après l'observation du phénomène. Le gyroscope fut construit, au contraire, pour mettre en évidence un principe que Foucault avait découvert, la tendance des rotations au parallélisme : l'expérience vint confirmer ses prévisions et démontra ainsi le principe que, *a priori*, Foucault avait admis comme certain.

Le gyroscope se prête encore aux expériences les plus variées et permet de produire des effets qui semblent, au premier abord, être en contradiction complète avec les lois de la mécanique : c'est ainsi que l'axe étant horizontal, l'addition d'un poids à l'une de ses extrémités a pour effet, non de le faire incliner d'une manière sensible, mais de lui communiquer un mouvement de rotation autour d'un axe vertical, L'analyse complète du phénomène rend compte de cet effet ainsi que de beaucoup d'autres qui ne paraissent pas moins extraordinaires : cet appareil est de beaucoup celui qui se prête le mieux aux diverses applications de l'étude du mouvement de rotation.

On a peine à concevoir la puissance d'esprit de déduction de Foucault qui était conduit par le seul raisonnement et qui ne demandait rien aux formules ; qui saisissait par induction ce qui devait être vrai, et qui arrivait à conclure à l'évidence avec certitude ; qui réalisait enfin l'expérience la plus propre à prouver cette certitude, quelque complexes que fussent les lois qui régissent le phénomène qu'il étudiait ; la construction du gyroscope est un magnifique exemple de cette méthode intuitive, dans laquelle il excellait si particulièrement.

C'est également par voie d'induction que L. Foucault fut conduit à la réalisation d'une expérience concernant la transformation du travail mécanique en chaleur et qui est devenue classique ; mais ici l'induction était plus compréhensible, elle était la conséquence de l'adoption des idées de Mayer et de Joule.

Cette expérience repose en principe sur une découverte d'Arago relative aux propriétés des aimants, que L. Foucault a définies de la façon suivante :

« L'aimant possède une propriété qui n'est encore bien connue que des savants de profession, propriété tout aussi extraordinaire

que celle d'attirer le fer et l'acier ; l'aimant, quand il est très-fort, éteint le mouvement dans les corps métalliques, quels qu'ils soient, et cette action est d'autant plus énergique, que la vitesse est plus grande. Ainsi, prenez un bouton de cuivre suspendu à un fil, approchez un aimant, le fil gardera sa position verticale, le bouton ne se dérangera nullement, ni pour rejoindre ni pour fuir l'aimant ; mais si le fil, ayant été préalablement tordu, fait tourner le bouton sur lui-même, l'approche d'un aimant puissant met obstacle au mouvement et empêche le bouton de tourner plus longtemps [1]. »

Le même effet se produit si l'on opère avec un électro-aimant, que l'on rend actif instantanément par le passage d'un couran électrique. Faraday a démontré que cet effet est dû à la production dans le corps en mouvement de courants particuliers dont i a pu étudier les propriétés.

Voyons maintenant la disposition de l'appareil de Foucault et son usage. Un disque de cuivre rouge tourne sans les toucher entre les deux pôles d'un électro-aimant. Tant que le courant ne passe pas, le mouvement se produit avec une grande facilité, et le disque, après une légère impulsion, continue à tourner pendant fort longtemps. Il s'arrête, au contraire, instantanément lorsque, sous l'influence du courant, l'électro-aimant devient actif ; c'est là l'expérience d'Arago ; mais si l'on veut entretenir le mouvement, on est surpris d'éprouver une résistance considérable, que l'on ne peut vaincre qu'au prix de violents efforts. Ce n'est pas trop de toute la force d'un homme pour donner au disque la vitesse qui précédemment était obtenue sans difficulté. Tout ce travail mécanique, que l'on peut évaluer et qui est sensiblement celui que produirait dans le même temps un manœuvre agissant sur la manivelle d'un treuil, est-il donc dépensé en pure perte ? Nullement, ce travail se retrouve, mais sous une autre forme : il se transforme en chaleur ; le disque s'échauffe, et bientôt l'élévation de température est sensible à la main : la corrélation entre les deux agents est manifeste.

Cette expérience n'a pas été faite au hasard. Foucault y avait été conduit par les idées théoriques sur l'équivalence du travail mécanique et de la chaleur ; voilà par quelles considérations il

[1] *Journal des Débats*, 18 octobre 1856.

fut amené à construire l'appareil et à prévoir les résultats dus à l'intermédiaire des courants d'induction qui, comme nous l'avons dit, se développent dans une masse métallique en mouvement devant un aimant.

« Ces courants d'induction, dont l'existence n'est pas douteuse, mais dont l'intensité et le parcours échappent à notre appréciation, ces courants, quels qu'ils soient, devaient satisfaire à la condition de régénérer par leur existence même une quantité de chaleur équivalente à la force motrice, ou plus exactement au travail dépensé pour faire mouvoir la machine. La doctrine de l'équivalence mécanique de la chaleur, à laquelle se rallient tous les esprits réfléchis, énonce d'une manière générale qu'en toute circonstance où une force travaille sans produire d'effet mécanique, il doit en résulter de la chaleur en quantité déterminée. En raisonnant sur cette donnée précise, l'expérience que nous projetions nous parut promettre un résultat certain, car si la théorie de l'équivalent mécanique comporte une généralité complète, l'étrangeté du procédé employé pour absorber le travail ne devait en aucune façon modifier le résultat ; on savait d'ailleurs, par l'expérience de M. Faraday, combien cette action est énergique et prompte ; nous avons donc tourné la manivelle sans douter aucunement du résultat qui allait se produire, et quand le thermomètre fut appliqué sur le disque, il accusa aussitôt la chaleur prévue ; puis, en forçant davantage, on rendit bientôt le phénomène directement sensible à la main. La production de la chaleur par l'influence de l'aimant sur les corps en mouvement est donc un fait acquis [1]. »

Cette expérience élégante est, nous l'avons déjà dit, devenue fondamentale dans les cours pour donner l'exemple de la transformation du travail mécanique en chaleur.

Parmi les travaux purement physiques qui ont rendu L. Foucault célèbre, nous devons mentionner d'une façon toute spéciale la détermination de la vitesse de transmission de la lumière. La difficulté de mesurer cette vitesse directement avait pendant longtemps découragé les physiciens, qui laissaient l'astronomie résoudre seule ce problème : il semble, en effet, impossible au premier abord de déterminer, par des expériences faites sur le globe

[1] *Journal des Débats*, 18 octobre 1856.

terrestre, les conditions de mouvement d'un agent qui parcourt *soixante-seize mille lieues par seconde ;* la lumière ferait plus de sept fois le tour d'un méridien pendant la durée d'une oscillation du pendule. C'est de ces dernières années seulement que datent les essais dirigés vers la solution de la question qui nous occupe. L'emploi des miroirs tournant avec une grande rapidité avait permis à Wheatstone de mesurer la vitesse de propagation de l'électricité (1838), et Arago avait compris, dès l'abord, la possibilité d'appliquer la même méthode à la mesure de la vitesse de la lumière : malgré les soins apportés par Bréguet à la construction de l'appareil, l'expérience ne put avoir lieu ou tout au moins ne donna aucun résultat. L. Foucault appliqua la même idée à la construction d'un appareil qui présentait des modifications telles que la réussite était certaine ; ces changements ne portaient pas seulement sur quelques détails, mais aussi sur un point d'une importance capitale qui corrigeait complétement le défaut dont était entachée l'expérience d'Arago.

L. Foucault ne rechercha pas tout d'abord à mesurer la vitesse absolue de la lumière ; il compara seulement les vitesses dans l'air et dans l'eau, et, par des expériences d'une précision extrême, arriva à énoncer ce résultat d'une certitude que l'on ne pouvait nier : *La lumière se meut plus vite dans l'air que dans l'eau* [1]. Cette conséquence conduisait à des notions précises sur la nature de la lumière et permettait de décider entre deux systèmes qui jusqu'alors pouvaient également être admis : le système de l'émission et le système des ondulations. Dans le premier, la lumière est composée de particules d'une nature spéciale qui émanent des corps lumineux dans toutes les directions et qui, venant frapper l'œil, produisent la sensation spéciale que cet organe est destiné à nous faire connaître. Dans le système des ondulations, la lumière est produite par le mouvement oscillatoire infiniment petit des molécules d'un fluide d'une extrême ténuité qui remplit l'espace ; ce mouvement se propage de proche en proche, comme dans une eau tranquille on voit se propager l'onde produite par la chute d'un corps ; dans le système de l'émission, la lumière est un agent matériel ; dans le système des ondulations, c'est un mode de mouvement. Ces deux hypothèses ne satisfaisaient pas

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 30 avril 1850.

avec une égale simplicité aux diverses expériences qui ont été introduites dans l'optique depuis le commencement de ce siècle; mais quelles que fussent les présomptions en faveur du système ondulatoire, aucun fait ne permettait de décider absolument, aucune incompatibilité n'existant entre l'une ou l'autre des théories et les résultats de l'expérience. L'étude mécanique des deux hypothèses avait conduit à énoncer un critérium qui devait permettre de rejeter l'une ou l'autre; la lumière devait se propager plus vite dans les milieux plus réfringents, plus vite, par suite, dans l'eau que dans l'air, s'il faut admettre la théorie de l'émission, le contraire devait avoir lieu, s'il faut tenir pour vraie la théorie des ondulations. L'expérience de Foucault était concluante; aucune hésitation n'est maintenant permise : l'hypothèse de Newton est incompatible avec les faits observés; il faut admettre le système de Descartes et de Fresnel.

Cette expérience, qui avait déjà conduit à de si magnifiques résultats, fut reprise plus tard et complétée. Par l'adjonction de quelques pièces délicates, Foucault parvint à mesurer absolument la vitesse de propagation de la lumière dans l'air; de ses expériences fort précises et dans lesquelles on peut calculer une limite de l'erreur possible, il résulte que la lumière parcourt en une seconde, non pas 308,000 kilomètres, comme on le croyait, mais seulement 298,000; la différence est notable, elle est $\frac{1}{30}$ de la valeur absolue; mais l'importance de cette rectification est plus considérable qu'elle ne le paraît au premier abord, car elle conduit forcément à diminuer dans le même rapport le nombre jusqu'alors adopté pour la mesure de la distance du soleil à la terre.

L'esprit est confondu à la pensée de ces expériences qui, faites dans un laboratoire de dimensions moyennes, permettent de mesurer de telles grandeurs; on ne peut trop admirer ces méthodes qui conduisent avec certitude à des rectifications qui ne sont pas moindres que un million de lieues : il faut avoir étudié complétement l'appareil employé par Foucault pour se rendre un compte exact des difficultés qu'il a vaincues, du degré de perfection auquel il était arrivé et qu'il était, du reste, nécessaire d'atteindre.

Les questions de théorie pure ne sont pas les seules que Foucault ait abordées, et son esprit pratique, qui saisissait rapidement et sûrement les conditions nécessaires de toute expérience, de toute observation, savait trouver une solution heureuse à chaque

nouveau problème dont il s'occupait. C'est ainsi que, conduit à étudier les instruments d'astronomie, après sa nomination de physicien à l'Observatoire, il y introduisit les plus heureuses modifications. Les télescopes appelèrent d'abord son attention ; voici en quels termes il rapporte par quelles considérations il fut amené à proposer une amélioration notable et en quoi elle consiste :

« Pour obtenir une vue détaillée des corps célestes, il n'y a sans doute pas de meilleurs moyens que de les examiner par l'intermédiaire des images qui se forment au foyer des miroirs à surface courbe. Plus le miroir a d'étendue et plus l'image est grande et riche en détails. Mais à mesure que les dimensions du miroir augmentent, la difficulté de le construire et de le mettre en fonction augmente aussi dans une effroyable proportion. Elles n'ont pas empêché les deux Herschell, lord Rosse et M. Lassell de maintenir constamment dirigés vers le ciel des télescopes en métal poli de leurs mains ; mais elle eût fait reculer les artistes, les constructeurs de profession, qui n'ont jamais pu s'assujettir à les fabriquer régulièrement. Il n'en a pas été de même des lunettes achromatiques en verre, que les opticiens construisent en France et à l'étranger avec une grande perfection. Dans ce rapprochement, nous avons cru voir la preuve que le verre se travaille mieux que le métal, et nous sommes persuadés que sans doute un télescope à réflexion ne serait plus chose rare, si l'on pouvait construire le miroir en verre. Une récente application de la chimie semblait d'ailleurs venir à point pour corroborer ces suggestions, en fournissant le moyen de métalliser la surface du verre par la réduction d'un sel d'argent. Si l'on chargeait l'opticien de donner la forme et le poli, la chimie viendrait ensuite communiquer au miroir l'éclat métallique de l'argent. Dans la séance du 16 février 1857, l'Académie des sciences a vu passer sous ses yeux un miroir construit sur ces simples données, qui avait effectivement le poli du verre et l'éclat de l'argent[1]. »

Les avantages de ce système apparaissent nettement : les miroirs à verre argenté sont supérieurs aux autres miroirs métalliques par le poids moindre, le polissage rendu plus facile, le temps employé réduit dans une forte proportion et les dépenses de beaucoup diminuées ; les télescopes de ce système sont supérieurs

[1] *Journal des Débats*, 11 mai 1862.

aux lunettes achromatiques en ce que la masse du verre que l'on emploie n'agissant que par sa surface, peut n'être pas d'une homogénéité parfaite et en ce que l'on taille une surface seulement et non pas quatre.

De notables perfectionnements furent encore apportés par l'emploi de la méthode des retouches locales, qui permet de transformer peu à peu la surface sphérique du miroir obtenue par les procédés ordinaires en une surface de révolution engendrée par une parabole, et qui jouit de la propriété de concentrer *rigoureusement* en un point les rayons parallèles issus de l'astre que l'on observe. Des miroirs de grandes dimensions, $0^m,40$ et $0^m,80$ de diamètre, furent rapidement construits et sont d'un excellent usage : la construction d'un miroir de $1^m,20$ a été décidée à la suite de ces heureux résultats.

L'emploi d'une méthode basée aussi sur les retouches locales conduisit Foucault à la réalisation de grands objectifs présentant des courbures irréprochables. Une seule lentille travaillée par Foucault existe; elle a été présentée à l'Exposition universelle de 1867 et était destinée à l'Observatoire de Lima.

Notre intention n'est pas d'étudier tous les travaux de Foucault ; nous avons voulu résumer les plus importants pour montrer autant que possible les facultés si variées de cet esprit supérieur. Nous allons rappeler seulement les titres de quelques mémoires également fort intéressants à divers égards.

Recherches sur l'intensité de la lumière émise par le charbon dans l'expérience de Davy[1], en collaboration avec M. Fizeau.

Sur le phénomène des interférences entre deux rayons de lumière dans le cas de grandes différence de marche[2], en collaboration avec M. Fizeau.

Recherches sur les interférences des rayons calorifiques[3]; avec M. Fizeau.

Note sur l'emploi des appareils d'induction[4].

Note sur un polariseur en spath d'Irlande[5].

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1849
[2] *Ibid.*, 24 novembre 1845.
[3] *Ibid.*, 1847.
[4] *Ibid.*, 4 février 1856.
[5] *Ibid.*, 17 août 1856.

Sur un moyen d'affaiblir les rayons du soleil au foyer des lunettes[1].

Nous devons indiquer d'une manière toute spéciale un travail sur le spectre produit par l'arc voltaïque[2], et dans lequel il énonce avec la plus grande netteté les principes qui ont servi plus tard (1859) à M. Kirchhoff pour établir l'analyse spectrale.

Outre ces études théoriques, nous devons signaler les appareils qu'il inventa ou modifia heureusement pour faciliter les expériences, pour assurer la régularité des observations :

Un héliostat qui présente, en même temps qu'une excellente disposition pratique, une élégante solution d'un problème de géométrie.

Un appareil de lumière électrique destiné à remplacer dans les cours la lumière du soleil trop souvent absente et à rendre possible en tout temps les leçons d'optique. Cet appareil, auquel il adopta un régulateur automatique qu'il parvint à rendre parfait, est devenu d'un usage général; il a été adopté pour les phares électriques que l'on a établis en divers points de nos côtes.

Enfin, l'un des derniers travaux dont Foucault s'est occupé est relatif à la recherche d'un régulateur de mouvement qui pût remplacer le régulateur à boules de Watt, sans présenter le même inconvénient, c'est-à-dire qui pût rester en équilibre dans une position quelconque du moment que la machine possède le mouvement pour lequel elle a été construite. L'appareil tel qu'il existe est d'une utilité incontestable pour les appareils délicats employés en astronomie, en physique : il donne alors les meilleurs résultats. Appliqué à des machines à vapeur même peu puissantes, il présente quelques inconvénients que son inventeur n'ignorait pas et auquel il espérait pouvoir apporter un remède efficace.

Il n'est pas possible de passer sous silence les articles que Foucault fit paraître pendant près de vingt ans dans le *Journal des Debats*, et dans lesquels il rendait compte des séances de l'Académie. Dans ces articles écrits avec clarté et même avec un certain charme, mais où il laissait percer une certaine causticité qui a singulièrement nui à ses succès académiques, il initiait les moins savants aux questions les plus ardues, il les intéressait en mon-

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 3 septembre 1866.
[2] *Journal l'Institut*, 7 février 1849.

trant l'utilité certaine ou possible d'un travail scientifique. Une grande ampleur d'idées, une impartialité extrême, caractérisent ces articles, dans lesquels on retrouve une personnalité et un esprit que Foucault avait le don de faire passer dans sa conversation et dont se souviennent ceux qui ont eu l'occasion de causer avec lui quelque peu intimement.

C'est pour faire connaitre ces qualités de l'écrivain que nous avons emprunté au seul *Journal des Débats* les citations dans lesquelles Foucault explique lui-même certains de ses travaux. La netteté que l'on retrouve dans tous ses mémoires nous a paru moins caractéristique ; il nous a semblé plus intéressant de montrer comment l'esprit qui savait approfondir les théories les plus ardues savait également se rendre clair et intelligible même pour les ignorants, ou du moins pour ceux qui ne sont pas des savants.

Jean-Bernard-Léon Foucault était né à Paris en 1819 ; il était fils d'un libraire que d'intéressantes publications sur l'histoire de France ont fait connaitre. Lorsque son éducation, qui avait été très-complète, fut terminée, il commença l'étude de la médecine, pour laquelle il manifestait un goût assez vif. La pratique du daguerréotype qui venait d'être découvert (1839), conduisit peu à peu Foucault à s'occuper des sciences physiques et particulièrement de l'optique, à laquelle il s'adonna bientôt entièrement. Il prépara, vers cette époque, pendant trois ans le cours de micrographie médicale de M. le docteur Donné.

Il eut pour collaborateurs dans ses premiers travaux, qui furent présentés à l'Académie de 1840 à 1850, M. Belfield-Lefèvre pour le daguerréotype, M. H. Fizeau pour la photométrie et les interférences, et M. J. Regnauld pour quelques questions relatives à la vision. A partir de 1850, Foucault travailla toujours seul.

Les divers travaux de Foucault lui valurent de hautes distinctions ; nommé chevalier de la Légion d'honneur après son expérience du pendule, il était officier depuis 1862. Il occupait à l'Observatoire depuis 1854 une place de physicien créée à son intention d'après les idées de l'Empereur, qui s'intéressa toujours à lui et à ses travaux jusqu'à subvenir aux frais de quelques expériences. Il fut nommé membre du Bureau des longitudes en 1862.

Il était membre correspondant de la Société royale de Londres, qui lui avait décerné la grande médaille d'or de Copley, distinction rarement accordée à des étrangers, de l'Académie de Berlin et de

nombre de sociétés savantes. Il s'était présenté une première fois à l'Académie des sciences en 1857 et avait obtenu assez de voix pour que l'on dût recommencer le scrutin : il échoua cependant. En 1865, il se présenta de nouveau, et quoique ses titres fussent des plus sérieux et que ses travaux lui eussent acquis presque des droits, il vit son élection mise en doute et l'épreuve du scrutin dut être renouvelée jusqu'à trois fois ; il l'emporta néanmoins.

L'esprit toujours occupé et tout en pensant à des questions nouvelles, Foucault avait préparé des expériences sur différents sujets qui n'exigeaient plus, pour ainsi dire, pour être terminées que quelques lectures, quelques mesures lorsqu'une cruelle maladie vint le frapper au mois de juillet 1867. Son cerveau, fatigué par ses longs et constants travaux, était atteint et il ne devait plus se retrouver en possession de toutes ses facultés ; Foucault ne se fit pas un instant illusion sur son état, et du premier jour se vit perdu ; il languit pendant sept mois sans vouloir écouter les espérances que ses amis lui donnaient, sans croire à la possibité d'une guérison. La pensée de ses travaux, des appareils qu'il avait construits et auxquel il devait sa renommée ne l'abandonna pas, et il ne fut tranquille qu'après avoir pris des dispositions qui en assuraient la répartition suivant ses volontés. On le vit s'éteindre peu à peu et perdre successivement l'usage de tous ses sens : depuis plusieurs jours déjà, il ne pouvait plus ni voir, ni parler, ni se mouvoir, ni même presque se souvenir, lorsqu'il est mort, le 11 février 1868.

Il nous resterait à apprécier la valeur de ce savant, le caractère propre de son esprit : qu'il nous soit permis de décliner cette tâche. Nous avons pu nous efforcer de mettre en évidence l'importance des travaux de Foucault, l'intérêt de leurs résultats : il ne saurait nous appartenir de porter un jugement. Nous emprunterons les lignes suivantes à M. J. Bertrand, que l'amitié qui l'unissait à Léon Foucault avait mis au fait des pensées et des idées de celui-ci : la valeur incontestable de ce savant donne une grande autorité à son appréciation.

« Entre les esprits les plus éminents que j'aie connus, Foucault a été sans contredit le plus original, le plus rebelle à toute direction et à toute influence, même à celles de son époque. Dans l'histoire de la science, il compte de glorieux ancêtres, il n'y a pas cherché un seul maître. Le facile honneur de l'instruire n'a été donné à aucune de nos grandes écoles ; dédaigneux des théories

et des formules classiques, il est entré dans la science comme un brillant et héroïque volontaire, affrontant ses premiers combats sans casque et sans bouclier, et quand nous l'avons vu manier avec tant d'art les armes les plus savantes, c'est qu'il les avait forgées lui-même. »

« En s'élevant au plus haut degré de la science, Foucault n'a jamais changé de méthode, ni de principe. L'évidence était pour lui la seule marque assurée de la vérité, » a dit encore M. J. Bertrand, et ces mots le caractérisent complétement. Il possédait au plus haut degré l'esprit d'invention, et dans ses travaux n'était jamais guidé par le raisonnement mathématique : il cherchait constamment jusqu'à ce qu'il eût entrevu la solution du problème qu'il s'était posé ; puis il recommençait ses recherches jusqu'à ce que la solution fût complète, jusqu'à ce que l'expérience, entière dans son cerveau, fût réalisable, fut praticable. On admire la puissance de cette intelligence lorsque l'on sait les difficultés que les géomètres ont rencontrées dans l'application du calcul à ses expériences de mécanique, méthode d'analyse dont son esprit avait pu s'affranchir.

Foucault écrivait peu, il ne communiquait guère ses idées que lorsqu'il était certain de leur exactitude, il n'a formé aucun élève. On ne peut par suite se rendre compte des vérités nouvelles sur la voie desquelles il se trouvait ; les travaux qu'il avait commencé à réaliser, ceux sur lesquels on pourra trouver des indices suffisamment détaillés ne seront heureusement pas abandonnés. L'Empereur a décidé qu'une somme annuelle de 10,000 francs serait consacrée à la publication des travaux de Foucault et à la continuation de ses expériences. On peut donc espérer avoir l'œuvre complète ; mais, hélas ! l'ouvrier ne jouira pas de ce dernier triomphe.

Foucault n'était pas seulement un homme de talent, il avait du génie, et son nom glorieux, gravé sur le monument qu'élève la science du dix-neuvième siècle, y restera ineffaçable.

C. M. Gariel.

VI

CHARLES MATTEUCCI.

L'application des sciences physiques à l'étude des phénomènes de la vie animale a été considérée pendant longtemps comme inutile, sinon nuisible : on admettait que la matière organisée doit être régie par des lois particulières, soumises elles-mêmes à une force spéciale, la force vitale. Ces idées tendent aujourd'hui à être complétement abandonnées, et la vie semble se composer en somme d'une série d'actes physiologiques gouvernés par les lois de la mécanique, de la physique et de la chimie, lois que l'on n'avait pas su distinguer au milieu de leur enchevêtrement complexe, si ce mot peut être employé dans ce sens. Si un changement si notable a pu se produire, alors que l'idée contraire était elle-même une réaction contre les doctrines incomplètes et exagérées de la chimiâtrie et de l'iatromécanique, c'est à l'exactitude des expériences, à la rigueur des déductions fournies par des résultats scientifiquement certains, qu'il faut attribuer cette possibilité. Parmi les savants qui ont marché délibérément dans cette voie, il faut compter Charles Matteucci, le physiologiste et physicien italien, mort en 1868, à peine âgé de 58 ans, et que ses travaux ont fait connaître et estimer à l'étranger en même temps qu'ils le faisaient élever dans son pays aux plus hautes dignités.

Matteucci avait étudié avec soin les phénomènes produits par les poissons électriques, et en particulier par le gymnote ; il avait décrit les organes producteurs de l'électricité (ces travaux furent, si nous ne nous trompons, les premiers où il s'occupa réellement de physiologie) ; il cherchait un moyen de mettre en évidence l'existence de courants très-faibles lorsqu'il fut conduit à reprendre les expériences de Galvani, ces fameuses expériences contre l'explication desquelles Volta s'était élevé avec force et que le professeur Aldini avait confirmées dans une série de travaux intéressants. Matteucci, opérant sur des grenouilles *préparées*, fut frappé de la sensibilité que présentent les pattes soumises à l'action d'un faible courant et conçut le projet de les faire servir de

galvanoscope. Le succès répondit à son attente, plus peut-être qu'il n'avait espéré, car si la patte galvanoscopique fraîche se contracte également sous l'influence de courants circulant dans l'un ou l'autre sens, la patte déjà fatiguée, mais encore sensible, indique la direction du courant qui la traverse par une différence d'action. Armé de cet appareil d'une délicatesse extrême (le docteur Wilkinson a calculé qu'un muscle d'une patte de grenouille est 56,000 fois plus sensible que le plus sensible électroscope [1]), Matteucci put prouver l'existence de courants dans les muscles non-seulement des animaux à sang froid, comme on l'avait pensé pendant longtemps, mais même des animaux supérieurs : des pigeons, des quadrupèdes et même des muscles humains, provenant d'un membre nouvellement amputé présentèrent des courants nettement manifestes ; Matteucci, en présence des états électriques opposés possédés par les surfaces naturelles ou de section des muscles, eut l'idée de les accoupler et d'en former des batteries dans lesquelles le courant, notablement plus intense que pour un muscle isolé, pouvait donner naissance à des contractions d'une patte galvanoscopique, ou dévier l'aiguille d'un galvanomètre : il réussit également avec des muscles de grenouilles, de pigeons ou de lapins.

Lorsqu'une patte de grenouille se contracte par une excitation mécanique ou chimique de son nerf, elle peut produire une excitation dans une autre patte dont le nerf repose sur elle ; cet effet, dû à une variation du courant électrique propre de la première patte provenant de sa contraction, a été étudié par Matteucci, qui lui a donné le nom de *contraction induite*. Il a reconnu que cette contraction induite pouvait également produire un effet analogue dans une troisième patte et que l'on pouvait avoir ainsi des contractions induites de divers ordres. Dubois-Reymond, le savant physiologiste allemand qui s'occupe exclusivement de l'électricité animale, a repris toutes ses expériences et les a étendues ; malheureusement les résultats auxquels il arriva ne furent pas toujours concordants avec ceux de Matteucci, dont non-seulement les interprétations, mais même les observations furent contestées.

Les travaux physiologiques de Matteucci offrent un grand intérêt en eux-mêmes, surtout parce qu'ils furent les premiers qui

[1] Dr Wilkinson, *Elements of Galvanism*, 1845.

portèrent sur des points que l'on avait négligés depuis Galvani, Aldini et Valli, et qui, sans être complétement élucidés, ont déjà conduit à de remarquables conclusions; mais les expériences physiques de Matteucci sont également intéressantes et suffiraient pour sauver son nom de l'oubli; toutes ses expériences, ou presque toutes, ont porté sur l'électricité, à l'étude de laquelle il a contribué en mettant en lumière certains faits inconnus avant lui. Nous devons signaler spécialement dans cet ordre d'idées son travail sur les corps isolants, dans lequel il prouve qu'ils s'imprègnent peu à peu d'électricité; il attribuait cette propriété à une *polarisation* des molécules, dans laquelle chacune d'elles prendrait une direction déterminée en même temps que deux pôles se manifesteraient en deux points opposés: des expériences synthétiques diverses, ingénieusement combinées, tendent à faire admettre la vérité de cette explication.

La recherche expérimentale des forces électro-motrices des piles, et les mesures variées et précises qu'il effectua à cette occasion le conduisirent à deux lois très-importantes non-seulement au point de vue de l'électricité, mais à cause de la confirmation qu'elles apportent à la grande idée de l'équivalence des forces physiques. La première de ces belles lois, que Faraday découvrait à la même époque, consiste en ce que le même poids d'un certain métal, dissous dans un acide, produit la même quantité d'électricité, quelles que soient les conditions dans lesquelles cette dissolution a lieu. La seconde loi dont nous voulons parler, et qui n'est pas moins remarquable, peut s'énoncer ainsi: dans une électrolyse, il faut les mêmes quantités d'électricité pour mettre en liberté des poids de métaux proportionnels à leurs équivalents chimiques.

Le diamagnétisme, le magnétisme de rotation appelèrent également son attention; il prouva que les corps diamagnétiques ont, sous l'influence d'un fort électro-aimant qui les dirige, des pôles aussi bien que les corps magnétiques; seulement la ligne des pôles est à angle droit avec celle des pôles de l'électro-aimant. Tyndall arrivait aussi au même résultat vers la même époque. Matteucci détermina la forme des courants qui prennent naissance dans un disque de cuivre tournant au-dessus d'un aimant puissant et montra la vérité des calculs et des théories qui avaient été faits à ce sujet. Bien plus, par des expériences synthétiques

diverses, il mit presque hors de doute les causes de ces divers phénomènes.

Cependant, et quel que soit le mérite de ces travaux, il nous semble que c'est la physiologie que Matteucci a fait le plus progresser ; c'est dans cette science que l'on rencontre ses travaux, sinon les plus complets, du moins les plus originaux. Les lois que nous avons signalées sont plus connues sous le nom de Faraday ; les travaux de Matteucci sur l'électricité animale pourront être complétés, mais leur date marquera un progrès dans la connaissance des phénomènes de la vie animale.

Charles Matteucci était né à Forli le 21 juin 1811, d'une famille honorable, mais peu aisée; son père était médecin militaire de l'empire. Cette qualité fit donner au fils, lorsque, ayant terminé ses études à Bologne, il fut venu à Paris, la faculté de suivre les cours de l'École polytechnique. En 1838, il fut nommé professeur à Ravenne par le gouvernement pontifical ; deux ans après le grand-duc de Toscane l'appelait à Pise pour succéder à Humboldt; il conserva cette chaire jusqu'en 1859. A cette époque, et sans complétement abandonner les sciences, il entra dans la vie politique active ; il fut successivement membre de la *Consulta Toscana*, chargé de missions diverses, sénateur lors de la proclamation du royaume d'Italie, puis inspecteur général des lignes télégraphiques. Lorsque le ministère Rattazzi succéda au ministère Ricasoli (1862), il fit partie du cabinet et fut chargé de l'instruction publique; il se retira, après quelques mois, avec les autres membres, lors du ministère Farini-Minghetti. Il fut nommé vice-président du conseil supérieur de l'instruction publique à sa création.

Si, comme homme politique, il n'a laissé qu'un plan fort bien entendu de réorganisation de l'instruction publique, comme professeur, comme écrivain il a fourni une longue carrière ; outre les cours réguliers que nous avons indiqués, il a fait quelques conférences destinées à faire connaître les nouvelles théories ; on peut citer, comme modèle d'une heureuse exposition, ses conférences sur la théorie mécanique de la chaleur (1864). Ses livres, ses mémoires sont fort estimés ; la plupart de ces derniers furent couronnés par diverses académies ; il fonda un journal scientifique, *Il Nuovo Cimento*, et collabora à presque toutes les publications périodiques de l'Italie et de l'étranger.

L'Italie s'enorgueillit avec raison de ce savant ; et si l'on y apprécie, comme ils le méritent, les travaux que nous avons résumés on se souvient également de ce fait peu connu ailleurs : que, par les soins de Matteucci, la Toscane fut dotée d'une ligne de télégraphe électrique dès 1846, avant la France par conséquent.

C.-M. Gariel.

VII

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE.

ŒUVRES POSTHUMES DE E. VERDET[1]

Les leçons de M. Verdet[2] ont laissé, chez tous ceux qui ont eu la bonne fortune de les suivre, un véritable sentiment d'admiration. Peu de professeurs ont su donner à leur enseignement des qualités aussi complètes : c'était franchement, sans hésitation, clairement, quoique avec rapidité, qu'il abordait les questions les plus délicates. Verdet possédait au plus haut degré cette précieuse et rare faculté de l'expression propre. Jamais là moindre réticence : on ne saurait mieux comparer la sensation que laissait à ses auditeurs la parole de ce savant, qu'à celle que procure la lecture d'un livre bien fait. Ajoutons néanmoins que, pour nous autres élèves, cette comparaison, que tous nous avons faite involontairement, n'était pas toujours une louange de notre part : d'une concision atteignant quelquefois le laconisme, la parole de Verdet réclamait, en effet, l'attention la plus soutenue de ses auditeurs. Malheur au distrait auquel échappaient quelques phrases ! c'était une page arrachée au livre, et la suite n'offrait souvent à son esprit qu'un sens presque impossible à saisir.

En sténographiant simplement le cours de Verdet, on eût obtenu un excellent ouvrage; ce travail n'a pas été fait ; mais, sui-

[1] Victor Masson, éditeur ; 8 vol. in-8°.

[2] Voy. une notice biographique sur M. Verdet dans l'*Annuaire scientifique* de 1867, p. 77.

vant les usages de l'École polytechnique, les élèves, au moyen des notes de quelques-uns d'entre eux, avaient préparé des feuilles que M. Verdet remplaça presque partout par un résumé écrit de sa main. Ces feuilles autographiées du cours de physique étaient fort recherchées en dehors de l'École; elles forment une sorte d'aide-mémoire où les faits connus, les sujets faciles à comprendre sont simplement indiqués en quelques mots, souvent sous forme de sommaires. Les questions plus abstraites même ne sont traitées avec quelques détails que dans leurs parties délicates. Ce sont néanmoins ces feuilles qui ont servi de base à la publication du *Cours de physique de l'École polytechnique*, paru cette année.

M. Fernet, ancien élève de Verdet à l'École normale, et, depuis plusieurs années répétiteur à l'École polytechnique, a dirigé cette publication. Avec une intelligence et une modestie dont on ne saurait trop le louer, M. Fernet a su s'effacer auprès du maître; et à la lecture du livre, tous les souvenirs de l'élève se retrouvent tour à tour. La brièveté, souvent extrême des descriptions et de quelques démonstrations a rendu cependant plus d'une fois la tâche difficile, et M. Fernet a été conduit à de légères additions, ou plutôt à quelques développements: on comprend qu'il existe une notable différence entre une rédaction destinée à des jeunes gens qui ont déjà suivi et compris la parole du professeur, et un ouvrage destiné à être lu même sans préparation, genre d'épreuve que doit pouvoir supporter tout bon traité.

Nous permettra-t-on d'adresser une légère critique au *Cours de physique*? Nous regrettons, nous qui nous trouvons encore sous l'impression des leçons de l'illustre maître, de ne pas retrouver à un degré plus élevé cette sorte de couleur philosophique qui en faisait le caractère propre. Il est évidemment plus difficile à un auteur de dépouiller sa personnalité en développant des doctrines qu'en étendant des démonstrations ou en précisant des faits; aussi cette lacune, qui du reste ne peut être sensible que pour les anciens élèves de Verdet, ne peut-elle passer pour un véritable défaut?

Doué d'un vaste esprit et de connaissances encyclopédiques, Verdet traitait souvent les questions à un point de vue plus élevé que ne le comportent en général des programmes tracés en prévision d'examens limités; souvent, par de rapides coups d'œil, en

quelques paroles lumineuses, il cherchait à relier la physique proprement dite aux sciences qui s'y rattachent par des liens plus ou moins étroits; il savait faire apparaître ces sortes de tangences où des faits d'un certain ordre scientifique semblent se raccorder à des faits d'un autre ordre : assurément, parmi les anciens disciples de l'homme éminent que nous regrettons, plus d'un physicien de l'avenir se sera souvenu des aperçus pleins de clarté par lesquels il savait dégager du vague les difficultés et montrer les véritables champs d'investigation. Les hypothèses, enfin, que des étudiants sont si fréquemment portés à prendre pour des lois, il savait les présenter sous leur véritable jour, en montrer l'utilité et la nécessité sans en exagérer l'importance.

Verdet affectionnait particulièrement quelques sujets auxquels son nom restera certainement attaché. Citons son *Optique*, sur laquelle nous aurons plus tard à revenir, et surtout l'*Exposé de la théorie mécanique de la chaleur*. Depuis longtemps, Verdet avait senti toute l'importance des vues qui ont ouvert des horizons nouveaux à l'étude des phénomènes du calorique, et s'y était attaché avec une persévérance qui fait de ses leçons et de ses notes, publiées sous la direction de MM. Prudhon et Violle, le meilleur exposé que nous ayons aujourd'hui sur les diverses parties, tant analytiques qu'expérimentales, de la théorie nouvelle.

On sait que, dans une machine en mouvement, le travail moteur est toujours plus considérable que le travail résistant utile : telle est l'idée d'où Verdet fait sortir la notion d'équivalent mécanique de la chaleur. On se rappelle en effet que, pour expliquer cette espèce de contradiction, on a eu recours, en mécanique, à ce qu'on appelle les *résistances passives*, constituées par le frottement et les mouvements vibratoires susceptibles de se produire et de se propager dans toute l'étendue de la machine. Mais le frottement est une force purement résistante, incapable de tirer un corps du repos ou d'augmenter sa vitesse; ce n'est pas une force élémentaire, mais la résultante d'actions moléculaires qui nous sont à peu près inconnues, si ce n'est que nous savons qu'elles obéissent aux lois générales de la mécanique. On sait également que, dans une machine qui travaille, les divers points matériels se retrouvent périodiquement dans les mêmes situations les uns par rapport aux autres, avec les mêmes vitesses; l'existence du frottement se traduit d'ailleurs, en général, pour le mécanicien, par l'usure des

parties en contact. Mais on peut facilement concevoir, et à la rigueur, on pourrait construire une machine composée d'éléments assez durs et assez polis pour que, pendant une durée déterminée, cette usure fût presque nulle.

« Or si, dans ce cas, dit Verdet, nous considérons le travail moléculaire qui résulte du frottement pendant une de ces périodes qui séparent deux états identiques de la machine, il nous sera évident que ce travail est rigoureusement égal à zéro, puisqu'à la fin et au commencement de la période, la situation relative des molécules réagissantes est la même. Que deviendra alors l'explication ordinaire de l'infériorité du travail utile au travail moteur ? Pouvons-nous y voir autre chose qu'une pure fiction mathématique, utile peut-être comme représentation provisoire d'un mécanisme ignoré, mais inacceptable comme expression de la réalité pour tout esprit qui ne voudra pas rejeter les notions les plus certaines de la science ? Ne devrons-nous pas soupçonner que partout où il y a frottement sans altération des surfaces, quelque changement inaperçu se produit, qui est l'équivalent véritable du travail absorbé ? »

Ce changement n'est autre que l'élévation de température des parties frottantes, échauffement auquel ne correspond le refroidissement d'aucune partie de la machine. Il est donc véritablement l'accomplissement d'un certain travail « où la force vive développée, insensible à nos organes, existe, selon toute apparence, dans les vibrations de ces derniers éléments de la matière que nos sens sont impuissants à distinguer. »

Dans une question née d'hier comme celle-là, la théorie et l'historique se touchent de près ; aussi la marche suivie dans l'*Exposé* était-elle indiquée d'avance : l'étude des beaux travaux de M. Joule, confirmés par les expériences de M. Favre sur le frottement de l'acier, conduit à l'examen d'une théorie nouvelle de la chaleur latente ; bien qu'aujourd'hui le travail intérieur qui lui correspond échappe à toute détermination, on peut cependant établir des relations théoriques entre les propriétés mécaniques et les propriétés calorifiques des corps.

L'étude des gaz nous conduit de même à une théorie nouvelle de leur constitution, théorie vérifiée par les lois mécaniques qui régissent les gaz les plus parfaits que nous connaissions.

Enfin, et ce n'est pas la partie la moins intéressante du livre,

nous arrivons aux applications, à l'étude et à la discussion des machines thermiques; à la mesure des forces chimiques par celle de la chaleur dégagée; à la physiologie animale et végétale, et au rôle immense des rayons solaires dans la succession des phénomènes physiques qui s'accomplissent sans relâche à la surface de notre globe [1].

L'exécution matérielle de l'œuvre de Verdet est digne de sa valeur scientifique. Composé à l'Imprimerie impériale, le texte est enrichi de gravures sur bois exécutées avec soin; tout y est revu avec sollicitude, et on sent que les élèves de Verdet ont compris qu'ils élevaient à la mémoire de leur maître le plus beau monument funéraire que puisse rêver un savant: une édition de ses œuvres.

Nous aurons à revenir sur cette importante publication, dont deux volumes seulement sur huit ont paru [2]. Cette étude aura pour nous cet attrait particulier qu'elle fait revivre la parole du maître regretté que nous déplorons de ne pas avoir connu plus longtemps.

JULES DALSÈME.

[1] Voy. P.-P. Dehérain: *la Chaleur solaire.* — *Annuaire de* 1865.
[2] Tome II: *Cours de physique de l'École polytechnique* (1re partie). — Tome VII: *Théorie mécanique de la chaleur.*

CHIMIE

I

PÉNÉTRATION ET OCCLUSION DES GAZ.

TRAVAUX RÉCENTS DE M. TH. GRAHAM.

Occlusion de l'hydrogène dans le palladium. — Passage de ce gaz au travers des métaux. — Expérience de M. Cailletet. — Passage de l'oxyde de carbone au travers de la fonte. — Les poêles de fonte.— Expériences de MM. Deville et Troost.

Les travaux de M. Th. Graham ont un singulier caractère d'originalité ; ils saisissent, ils frappent, et l'impression qu'on en éprouve ne permet pas de les laisser s'accumuler, pour en rendre compte seulement au moment où ils sont terminés. Il faut suivre l'auteur pas à pas, et enregistrer ses résultats à mesure qu'il les obtient. Déjà en 1865, en 1867 et 1868, le lecteur de ce recueil a été entretenu des expériences sur la diffusion et sur la pénétration des gaz au travers des métaux et du caoutchouc, qui sont dues à M. Graham, et de nouveau cette année nous revenons sur ces questions importantes, qui se lient, au reste, aux opinions assez divergentes qui se sont produites devant l'Académie, à propos de la salubrité des poêles en fonte.

Rappelons d'abord les expériences de M. Th. Graham, qui tendent à nous donner sur les gaz considérés jusqu'à présent comme permanents des idées tout à fait nouvelles.

Tout le monde sait que les corps solides possèdent la curieuse propriété de condenser les gaz, de leur faire perdre leur force

élastique ; l'absorption du gaz ammoniac ou de l'acide chlorhydrique par le charbon est classique et répétée dans tous les cours. — Le fer, le platine, le palladium, possèdent au rouge la propriété de condenser une quantité notable de certains gaz et particulièrement d'oxyde de carbone et d'hydrogène. Nous avons rappelé l'année dernière, d'après une conférence de M. W. Odling[1], qu'au rouge le platine et le palladium pouvaient condenser des quantités notables d'hydrogène ; mais nous n'avions pas sous les yeux, au moment où nous écrivions, le mémoire de M. Th. Graham, et nous pouvons, aujourd'hui que son travail est publié[2], donner sur le détail des opérations quelques renseignements nouveaux, qui ne paraîtront peut-être pas dénués d'intérêt.

M. Th. Graham place le métal sur lequel il opère dans un tube de porcelaine qui peut être porté au rouge et qui communique avec un ingénieux appareil, imaginé par M. Sprengel, pour faire le vide sans recourir à une machine pneumatique, ou encore pour puiser dans un tube les gaz qui peuvent s'en dégager.

L'appareil de M. Sprengel consiste en un long tube de verre disposé verticalement et communiquant, par le moyen d'un tube soudé latéralement, avec un récipient dans lequel on veut raréfier l'air. Ce tube vertical est surmonté d'un entonnoir dont on peut intercepter la communication. A l'aide de cet entonnoir, on fait couler du mercure ; le métal liquide, en tombant dans le tube vertical, entraîne l'air qui arrive par le tube latéral et raréfie ainsi l'atmosphère du récipient ; si l'on recourbe la partie inférieure du tube que l'on fait plonger dans du mercure, on peut recueillir le gaz entraîné par la colonne mercurielle. Avec cet appareil, qui rappelle complétement la trompe employée dans les forges catalanes, on peut faire le vide à 1 millimètre.

Pour observer l'occlusion des gaz, on faisait chauffer le métal dans un courant d'hydrogène, puis on l'y laissait refroidir. Le refroidissement étant complet, l'hydrogène du tube était chassé par de l'azote ; on mettait alors le tube en communication avec

[1] *Annuaire* de 1868, p. 382.

[2] Sur l'absorption et la séparation dialytique des gaz par les membranes colloïdales, par M. Th. Graham, *Annales de chimie et de physique*, IV[e] série, t. XII, p. 497. Décembre 1867.

l'appareil de Sprengel, et on élevait progressivement la température. — 1 volume de platine qui a été fondu absorbe $0^v,207$ d'hydrogène ; le platine en éponge, $1^v,48$, et enfin, le platine forgé, de 2 fois à 5,5 fois son volume d'hydrogène.

Cette faible quantité de gaz occlus dans le platine peut-elle expliquer que ce métal devienne rouge de feu quand il est plongé dans l'hydrogène, et qu'il en détermine ainsi l'inflammation? Oui, si on se rappelle que le platine possède une très-faible capacité calorifique, qu'il s'échauffe facilement; de plus, qu'un volume d'hydrogène, en se logeant dans les pores du platine, en s'y confinant, doit abandonner une quantité de chaleur considérable. N'y a-t-il pas là de quoi expliquer bien simplement les faits rapportés à cette force mystérieuse, désignée sous le nom de *force catalytique*, qu'on avait imaginée jadis pour expliquer les singuliers effets de combinaison déterminés par la présence du platine?

Le palladium *occlut* une quantité d'hydrogène infiniment plus considérable que le platine. A 245°, il prend, d'après les expériences de M. Graham, 526 fois son volume de gaz ; à 97°, il en prit 643,3 volumes. A la température ordinaire, le palladium absorbe encore une quantité de gaz considérable. Dans une des expériences citées, l'hydrogène, condensé occupait 376 fois le volume du palladium ; à l'état d'éponge [1], le palladium chauffé à 200° dans un courant d'hydrogène au milieu duquel on le laissa refroidir, absorba 686 fois son volume de gaz.

L'hydrogène condensé dans le palladium est doué de propriétés chimiques énergiques ; il réduit les sels ferriques à l'état de sels ferreux, transforme le cyanure rouge en cyanure jaune et se combine au chlore ou à l'iode dissous dans l'eau.

A ces faits importants M. Th. Graham ajoute, cette année, plusieurs considérations nouvelles dignes encore de toute notre attention[2]. L'absorption de l'hydrogène par le palladium à la température ordinaire, difficile dans les conditions précédemment décrites, devient facile, au contraire, quand on plonge, dans un vase où l'on décompose l'eau par la pile, une lame de palladium

[1] Tout le monde sait que certains métaux, séparés de leur combinaison par voie sèche, se présentent sous forme de masses poreuses, désignées sous le nom d'*éponges*.

[2] *Annales de chimie et de physique*, t. XIV, p. 315. Juillet 1868.

qui sert d'électrode négative ; tandis que l'oxygène se dégageait vivement au pôle positif, l'effervescence au pôle négatif était entièrement suspendue pendant vingt secondes, à cause de l'occlusion de l'hydrogène par le palladium. La quantité condensée s'éleva à $200^v,4$, et dépassa de beaucoup la quantité de l'hydrogène condensée par la même plaque chauffée, puis refroidie dans une atmosphère de gaz, savoir 90 volumes. Il faut ajouter que ce gaz *occlus* ne montre aucune tendance à s'échapper à la température ordinaire.

A quel état se trouve l'hydrogène dans ces métaux ? Sa volatilité se trouve entièrement supprimée, et on peut dire, avec M. Graham, « qu'il cesse d'être un gaz, quelle que soit d'ailleurs l'idée qu'on se fait de sa condition physique. »

Il semble, au premier abord, qu'en supposant que l'hydrogène est entré en combinaison avec le palladium ou le platine, on va lever toutes les difficultés. L'hydrogène, d'après l'ensemble de ses propriétés, paraît être une vapeur métallique ; il serait donc tout simple qu'il pût s'unir avec le platine ou le palladium pour former un alliage ou une combinaison rappelant l'hydrure de cuivre de M. Wurtz. On ne verrait même pas une objection dans le faible poids d'hydrogène combiné ; car on sait qu'un alliage est habituellement formé par une combinaison qui reste mélangée avec un des métaux employés en excès. On comprendrait ainsi que la combinaison fût plus facile à une température élevée qu'à froid, à moins que l'hydrogène ne fût à l'état naissant. Mais bientôt les objections s'élèvent, s'accumulent et forcent d'abandonner cette manière de voir ; et d'abord, l'hydrogène n'est pas seul capable de se condenser dans les métaux ; l'oxyde de carbone possède aussi cette propriété : il se condense notamment dans le fer [1], qui renferme toujours une certaine quantité de ce gaz, et, cette fois, on ne peut arguer de la nature métallique de ce gaz pour admettre l'existence d'une combinaison ; enfin, et c'est là ce qui est décisif, les métaux, non-seulement condensent les gaz, mais se laissent pénétrer et traverser par eux.

Nous avons déjà insisté sur cette pénétration, à plusieurs re-

[1] On se rappelle que le fer météorique de Lenart renferme de l'hydrogène au lieu d'oxyde de carbone. Voy., pour la curieuse conclusion qu'a tirée de ce fait M. Graham, l'*Annuaire de* 1868, p. 326.

prises différentes, en rappelant les travaux de M. Graham relatifs à la diffusion des gaz au travers de plaques de graphite ; nous avons cité la belle expérience de MM. Deville et Troost sur le passage de l'hydrogène au travers d'un tube de fer chauffé au rouge[1] ; enfin, l'an dernier, nous avons encore insisté sur cette pénétration à propos des travaux de M. Margueritte sur l'aciération[2].

Cette pénétration a même lieu à froid, ainsi qu'il ressort d'une expérience récente et très-curieuse de M. Cailletet.

Ayant eu l'occasion de soumettre des lames de fer au décapage dans un bain d'acide sulfurique, cet habile chimiste remarqua que ces lames, parfaitement planes au moment de l'immersion, s'étaient recouvertes d'ampoules nombreuses pendant l'action du bain acide ; elles ressemblaient singulièrement à celles qui apparaissent dans des plaques de fer soumises, à une haute température, à l'action des gaz du foyer. Ces ampoules déchirées, sous le mercure, laissèrent échapper du gaz hydrogène, qui s'était ainsi logé dans le métal, et qui peut même le traverser, ainsi qu'on le constate à l'aide d'une vaste ampoule artificielle obtenue en soudant bord à bord deux lames de fer mince superposées. Le sac ainsi formé est muni d'un tube de cuivre de petit diamètre, qui pénètre entre les deux lames en s'y fixant par une soudure. Lorsqu'on attaque dans un bain d'acide sulfurique ou chlorhydrique étendu un appareil ainsi construit, on remarque, après un espace de temps qui varie en raison de l'épaisseur des parois métalliques, que de nombreuses bulles se dégagent par l'extrémité libre du tube abducteur préalablement plongée dans un liquide.

Une certaine pression de mercure n'empêche pas l'hydrogène de passer, et cependant les ampoules sont capables de supporter le vide, même lorsqu'elles sont plongées dans une atmosphère d'hydrogène sec.

M. Cailletet a remarqué que, si on plonge une lame de fer dans un bain d'acide sulfurique ou chlorhydrique affaibli, et que après un séjour de quelques instants dans le liquide corrosif, on lave rapidement cette lame, d'abord avec de l'eau alcaline,

[1] *Annuaire de* 1865 : les Hautes températures, p. 75.
[2] *Ibid.*, p. 226.

puis avec de l'eau pure, il se dégage pendant quelque temps de la surface du fer de très-petites bulles gazeuses. « Il est donc permis, ajoute-t-il, de conclure de ce fait que le fer se laisse pénétrer par l'eau acidulée, qui y creuse des cellules, et cela, à une profondeur qui peut être très-petite, mais qui assurément n'est pas insensible. Si on remarque en outre qu'un corps poreux capable de se laisser facilement traverser par un gaz sec perd cette propriété lorsqu'il est humide, on peut supposer que l'acide pénètre dans l'intérieur du métal, y creuse des cavités et met un obstacle absolu au dégagement de l'hydrogène qui se produit au fond des cellules métalliques dans lesquelles les acides ont pénétré. Cet hydrogène éprouverait donc dans l'intérieur de ces cellules une pression considérable, et cette pression pourrait être suffisante pour forcer l'hydrogène à traverser la partie du métal qui n'est pas mouillée par l'acide, et à se dégager à la surface intérieure des ampoules artificielles[1]. »

M. Graham s'est particulièrement préoccupé du passage des gaz au travers des métaux ou au travers des membranes colloïdales ; d'après lui, il ne saurait être comparé à celui qui se produit au travers d'un corps poreux comme le graphite.

Les pores du graphite sont assez fins pour empêcher toute *effusion* en masse, mais il ne s'oppose pas à la diffusion moléculaire, et si fins que soient ces pores, ils paraissent être de « véritables tunnels, » comparés à l'extrême tenuité des molécules, dont les dimensions ont cependant une influence sur la durée du passage. — On se rappelle, en effet, que dans le diffusiomètre de M. Graham, formé d'un tube de verre, fermé à l'une de ses extrémités par une plaque mince de graphite, et retourné sur le mercure, on observait en remplissant le tube, retourné sur le mercure, de gaz hydrogène, que celui-ci se diffusait dans l'air bien plus rapidement que l'air ne pourrait pénétrer dans l'hydrogène, et qu'au moment où l'expérience était terminée, une quantité notable de mercure était montée dans le tube pour combler le vide laissé par le départ de l'hydrogène et incomplétement rempli par l'entrée plus lente de l'air atmosphérique.

M. Graham a trouvé que la diffusion moléculaire des gaz avait lieu avec une vitesse inversement proportionnelle au carré de la

[1] *Comptes rendus*, t. XLVI, 1868, p. 847.

densité, ainsi qu'on peut le voir par le tableau suivant, où l'on a pris la densité et la vitesse de l'oxygène comme unités :

	Temps du passage de différents gaz soumis à la pression atmosphérique au travers d'une plaque de graphite.	Racine carrée de la densité. (L'oxygène est pris pour unité.)
Oxygène	1	1
Air atmosphérique	0,9501	0,9507
Acide carbonique	1,1860	1,1760
Hydrogène	0,2505	0,2502

Le passage au travers des membranes colloïdales, comme les métaux ou le caoutchouc, est bien différent. Mais avant d'indiquer les résultats auxquels M. Graham est arrivé, il convient de rappeler brièvement la méthode d'observation qu'il a employée.

Son diffusiomètre consiste en un tube de 22 millimètres de diamètre et de 1 mètre de longueur, ouvert à un bout et fermé à sa partie supérieure par une plaque de stuc en gypse recouverte d'une membrane de caoutchouc ; le gypse, à cause de sa porosité, n'a pas d'influence sur les phénomènes. Si l'on remplit ce tube de mercure et qu'on le renverse sur un bain de mercure, il s'y fait un vide barométrique ; mais l'air rentre peu à peu par la membrane et déprime la colonne de mercure. Pour observer la rentrée d'autres gaz, on recouvre le haut du tube d'une coiffe de caoutchouc munie de deux tubes latéraux ; le gaz arrivant par l'un des tubes peut ressortir par l'autre, et forme ainsi une atmosphère gazeuse au-dessus de la plaque de diffusion. De tous les gaz, l'azote est celui qui traverse le plus lentement le caoutchouc. En représentant par 1 la vitesse avec laquelle il la traverse, la vitesse des autres est représentée par les nombres suivants :

	Vitesse.
Azote	1
Oxyde de carbone	1,113
Air atmosphérique	1,149
Gaz des marais	2,148
Oxygène	2,556
Hydrogène	5.500
Acide carbonique	13,558

Le passage des gaz au travers du caoutchouc s'observe très-

bien à l'aide de petits ballons de caoutchouc; lorsque ceux-ci sont remplis d'acide carbonique ou d'hydrogène, ils perdent rapidement du gaz, qui est en partie remplacé par de l'air, et ils diminuent de volume. Le contraire a lieu si le ballon est rempli d'azote ; dans ce cas, l'oxygène rentrant plus vite que l'azote ne sort, le volume du ballon va en augmentant.

Le passage au travers du caoutchouc ou des métaux, ou de toute autre matière colloïdale, est dû, d'après M. T. Graham, à un phénomène complétement différent de la dialyse. Il est dû à une *liquéfaction* du gaz dans la membrane colloïdale. Nous avons vu plus haut quelle était l'énorme quantité de gaz qui pouvait pénétrer dans le palladium; or les volumes des gaz sont en raison inverse des pressions, quand 1 volume de palladium condense 500 ou 600 volumes d'hydrogène, il faut donc concevoir que ce gaz supporterait 500 ou 600 pressions d'une atmosphère s'il occupait le volume du palladium ; mais il pénètre dans un corps solide qui semble occuper lui-même tout l'espace, de telle sorte que la place réservée au gaz se trouve encore singulièrement diminuée ; par suite, la pression est encore supérieure à celle que nous venons d'indiquer et vraisemblablement le gaz ne peut pas résister ; il se liquéfie donc. « Il y a, dit M. Graham, une sorte d'affinité en jeu, entre le caoutchouc et le gaz, analogue à celle qui existe entre un corps soluble et son dissolvant. Lorsque le caoutchouc est saturé de gaz liquéfié, celui-ci rencontrant un espace vide, ou, ce qui revient au même, un gaz différent, reprend l'état gazeux. »

Nous avons déjà insisté, il y a deux ans, sur la curieuse application qu'a tirée M. Graham de la vitesse variable du passage de l'oxygène et de l'azote au travers du caoutchouc. On se rappelle que le gaz qui a traversé cette matière est singulièrement plus riche en oxygène que l'air atmosphérique ; en moyenne, le gaz, soumis à une seule dialyse, est de 41, 6 p. 100 ; on peut considérer cet air comme ayant perdu la moitié de l'azote qu'il renferme. Une seule dialyse conduit donc à résoudre à moitié le problème de la séparation dialytique complète des gaz de l'air. Une seconde dialyse enlèverait probablement la moitié de l'azote restant ; une troisième, le quart, et ainsi de suite ; de telle sorte qu'il est possible qu'on trouve là la solution d'une question étudiée depuis longtemps et non encore résolue d'une façon convenable : la

préparation industrielle de l'oxygène à l'aide de l'air atmosphérique.

Il semblait au premier abord que ces questions de pénétration des gaz au travers des surfaces métalliques n'eussent aucun rappart avec l'hygiène, et cependant une discussion assez vive s'est ouverte à l'Académie, cette année, sur les dangers que présentaient pour la salubrité publique les poêles en fonte, dangers que l'on attribuait à la propriété qu'ils posséderaient de laisser filtrer l'oxyde de carbone produit par la combustion.

M. le général Morin, qui s'était particulièrement intéressé à cette question qui touche les études qu'il poursuit avec tant de zèle sur la ventilation des édifices, a prié MM. H. Sainte-Claire Deville et Troost, de vouloir bien étudier les gaz qui circulent autour d'un poêle de fonte chauffé à la température assez élevée qu'ils atteignent par les grands froids de l'hiver, dans les écoles, les corps de garde, etc. L'appareil employé par les deux savants chimistes de l'École normale, que leur belle expérience sur la filtration de l'hydrogène au travers un tube d'acier désignait naturellement pour cette recherche, consiste essentiellement en un poêle de fonte, autour duquel on a disposé une chambre enveloppante également en fonte, d'où, à l'aide d'un aspirateur, on peut extraire l'air mêlé des produits gazeux qui se sont diffusés à travers la fonte chauffée. — Les gaz étaient analysés à leur sortie, et on a constaté, en effet, qu'ils renfermaient toujours une certaine quantité d'oxyde de carbone qui s'est élevé dans une des expériences à 1 millième, mais dont la moyenne n'est que de 3 dix-millièmes.

Il est donc possible que ce mode de chauffage présente quelque inconvénient, et qu'il soit sage de remplacer dans les édifices mal ventilés les poêles en fonte par des poêles en tôle qui ne laissent pas filtrer une aussi grande proportion de gaz vénéneux ; mais il est vraisemblable, cependant, que les poêles en fonte ne méritent pas la réprobation dont ils ont failli devenir l'objet, et que si la petite quantité d'oxyde de carbone qu'ils laissent filtrer peut occasionner quelques migraines, maux de tête ou incommodités passagères, elle est incapable de déterminer des fièvres typhoïdes ou même des épidémies d'une nature particulière, comme l'ont prétendu quelques-uns des auteurs qui adressent leurs observations à l'Académie. De ce que des personnes entassées dans une

chambre fétide, chauffée par un poêle de fonte, ont été atteintes de la fièvre typhoïde, on ne peut affirmer que ce soit l'oxyde de carbone qui ait déterminé cette affection.

Si nous laissons maintenant de côté le détail des expériences précédentes et les applications qui en découlent, et que, nous élevant au-dessus des faits nous cherchions à en tirer une interprétation, nous arrivons involontairement à toucher ces questions si délicates des forces chimiques qui préoccupent depuis plusieurs années le monde savant.

L'évolution naturelle des idées scientifiques nous pousse aujourd'hui vers la synthèse; le temps n'est plus où l'on croyait utile d'imaginer une force nouvelle pour expliquer une observation qui ne paraissait pas se rapporter facilement à une cause connue; nous cherchons, au contraire, à diminuer le nombre des agents auxquels nous rapportons les phénomènes observés, et depuis le commencement du siècle, nous avons déjà fait dans ce sens un remarquable progrès; il n'y a plus de fluide magnétique : l'électricité suffit à expliquer les faits qu'on avait rapportés à une cause particulière; la chaleur nous apparaît comme un mode de mouvement; enfin dans une communication éloquente faite récemment à l'Académie, son illustre et nouveau secrétaire perpétuel, M. Dumas, rappelait les liaisons qu'avait autrefois établies Newton entre l'affinité chimique et l'attraction universelle.

Cette marche de la science est logique, elle est utile, et ce serait remonter le courant naturel des idées, que d'imaginer une force particulière pour expliquer cette propriété curieuse que possèdent les métaux ou les membranes colloïdales de condenser les gaz et de se laisser traverser par eux.

Cherchons donc si, dans les phénomènes déjà connus, nous n'en rencontrons pas d'analogue à ceux que signale M. Graham. On ne saurait évidemment comparer l'occlusion de l'hydrogène dans le palladium à une combinaison; l'ensemble des propriétés n'est pas changé ainsi qu'il arrive dans une combinaison; le palladium conserve son état métallique, il n'est pas profondément modifié comme il le serait en s'unissant au chlore ou à l'oxygène. Mais si nous ne pouvons invoquer la combinaison qui a lieu en proportions définies, dans laquelle les propriétés des corps sont complétement modifiées, ne pouvons-nous pas comparer l'occlusion des

gaz à une *dissolution* ? Il est évident que le mot ne semble pas s'appliquer d'une façon heureuse ; on ne voit pas, dans la pénétration d'un gaz, dans un solide, cette action de *délier* qui représente la séparation des molécules solides disparaissant dans un liquide, et cependant M. Th. Graham, sans appuyer comme nous le faisons ici sur cette comparaison de l'occlusion des gaz dans les solides et de la dissolution de ces mêmes gaz dans les liquides, n'hésite pas à employer plusieurs fois cette expression. C'est donc encore en développant une de ces idées que nous pouvons dire qu'il a singulièrement étendu une branche de nos connaissances, en nous montrant des exemples remarquables de *dissolution* de gaz dans les *solides*.

P.-P. Dehérain.

II

L'OZONE.

TRAVAUX RÉCENTS DE MM. SCHŒNBEIN, ANDREWS ET TAIT, SORET ET HOUZEAU.

Il n'est peut-être pas de substance qui ait plus vivement excité l'attention des chimistes que l'ozone, que cet oxygène odorant, essentiellement actif, plus puissant que le gaz vivifiant de notre atmosphère ; que ce gaz qu'on ne sait produire qu'en quantités extrêmement faibles, et qui se dérobe, se détruit, disparaît, quand il a été à peine entrevu.

Les chimistes se sont acharnés cependant ; et lentement, péniblement, après nombre d'hésitations, de recherches vaines, d'erreurs même, arrivent non-seulement à déterminer rigoureusement sa nature, à montrer sa présence dans l'air, mais aussi à déterminer sa densité. C'était là, il faut le reconnaître, un travail qui exigeait une rare dextérité, car l'ozone est toujours dilué en très-faibles proportions au milieu de l'oxygène ordinaire et ne saurait être obtenu à l'état de pureté, condition habituellement indispensable pour trouver rigoureusement le poids de l'unité de volume. Il faut reconnaître au reste que jamais question ne mérita

davantage une étude attentive et minutieuse ; les savants n'étaient pas seuls à désirer la solution, elle était aussi attendue par ce public lettré, ami des sciences, et les comprenant, qui chaque jour devient plus sympathique aux efforts des chercheurs.

Il voulait savoir ce qu'était cet ozone mystérieux qu'on lui disait tour à tour exister et faire défaut dans l'air, auquel on attribuait une influence marquée sur la salubrité, et qui, enfin, semblait se rattacher à cette question irritante des corps simples.

Ces soixante-cinq espèces, incapables de se transformer, apparaissent comme ces sphinx de l'ancienne Grèce, comme ces divinités impitoyables qui posent aux mortels les problèmes les plus ardus. Notre esprit aime la logique : ces soixante-cinq corps que nous ne pouvons décomposer, qui restent immuables au milieu de toutes les transformations que nous leur faisons subir, l'irritent, et il voudrait hâter le jour où l'on pourra lui montrer que les corps voisins par leurs propriétés sont formés par une même matière réunie en groupements différents. Ce jour, qui, s'il doit luire, sera à jamais célèbre dans les fastes de la science, n'est pas encore apparu ; son aurore même est à peine visible et cependant on ne saurait nier qu'on n'ait fait un pas dans cette voie, en montrant que l'oxygène peut, en se condensant, en se combinant à lui-même, donner une matière dont les propriétés nouvelles, tout en restant voisines de celles de l'oxygène ordinaire, ont cependant quelque lointaine analogie avec celles du chlore.

Les recherches importantes poursuivies depuis plusieurs années par MM. Andrews et Tait, celles de M. Soret ont démontré que l'ozone était une variété d'oxygène plus condensée, comme la benzine, par exemple, n'est que l'acétylène combiné à lui-même[1] ; la discussion si longtemps continuée sur la présence de l'ozone dans l'air paraît tirer à sa fin, et des arguments décisifs ont été donnés cette année ; nous nous étions donc résolus à revenir à cet important sujet, déjà abordé dans ce recueil il y a plusieurs années[2], quand la mort de M. Schœnbein, à qui on doit la découverte de l'ozone, est venue donner à cette question une triste actualité[3].

[2] Voy. *Annuaire de* 1868.

[2] *Annuaire de* 1865, p. 81. — Ce volume, qui a manqué pendant plusieurs années dans les collections, vient d'être réimprimé.

[3] Voy. plus loin une notice nécrologique sur M. Schœnbein, page 141.

I

Nature de l'ozone. — Recherches de sa densité. — Expériences de MM. Andrews et Tait, de M. Soret. — L'ozone est de l'oxygène condensé.

On se rappelle que si Van Marum, en 1785, avait appelé l'attention sur l'odeur que prenait l'oxygène soumis à l'influence des étincelles électriques, odeur qu'il attribuait à la « matière électrique, » ce fut Schœnbein qui, en 1840, montra que l'oxygène dégagé par l'électrolyse de l'eau présente cette même odeur et la conserve après son séjour dans des flacons bien bouchés; c'est encore lui qui donna à la substance caractérisée par cette odeur le nom d'ozone. MM. Marignac et de la Rive en Suisse, MM. Fremy et Ed. Becquerel en France, ont particulièrement contribué à fixer la nature de l'ozone; pour eux, ce gaz n'est autre que de l'oxygène modifié par l'électricité, c'est une variété d'oxygène; le procédé qu'ils ont suivi pour établir ce fait capital reposait sur la transformation complète d'une petite quantité d'oxygène pur en ozone. On réussissait en plaçant dans un petit tube de verre retourné, sur une dissolution d'iodure de potassium et portant à sa partie supérieure deux fils de platine soudés dans le verre, de l'oxygène parfaitement pur. On voyait le gaz s'absorber à mesure que les étincelles le traversaient et le liquide prendre une légère coloration jaune par la dissolution, dans l'iodure de potassium non altéré, de l'iode mis en liberté. On avait ainsi une démonstration très-nette que l'ozone n'était que de l'oxygène modifié; quelques chimistes toutefois attaquèrent cette conclusion, ils croyaient pouvoir affirmer que l'ozone était un trioxyde d'hydrogène, mais des expériences importantes de M. Andrews[1] vinrent complétement confirmer les conclusions précédentes.

Nous ne rappellerons pas ici les travaux de M. Houzeau sur la préparation de l'ozone au moyen du bioxyde de baryum et de l'acide sulfurique; ceux de Schœnbein sur la formation de ce gaz par l'action du phosphore sur l'oxygène ordinaire, qui ont été décrits dans l'article inséré dans l'*Annuaire* de 1865 : nous con-

[1] *Annales de chimie et de physique*, IIIe série, t. XLVII, p. 181. 1856.

centrerons notre attention sur la détermination de la densité de ce corps singulier.

En 1857, MM. Th. Andrews et P.-G. Tait[1] firent une première tentative pour déterminer la densité de l'ozone, en s'appuyant sur la propriété qu'il possède de se détruire sous l'influence de la chaleur, et de donner naissance à de l'oxygène ordinaire; on conçoit dès lors qu'en chauffant dans des vases terminés par des tubes capillaires renfermant un liquide, de l'oxygène ozoné, on puisse reconnaître un changement de volume qui annoncera si l'ozone, en se métamorphosant en oxygène, se dilate ou se contracte; ce qui indiquerait que sa densité est supérieure ou plus faible que celle de l'oxygène ordinaire; on conçoit même qu'en ayant déterminé par une expérience préalable la quantité d'ozone contenu dans le gaz soumis à l'expérience, on ait là un procédé pour calculer, d'après le changement de volume observé, la densité de cet ozone. Cette première recherche conduisit MM. Th. Andrews et P.-G. Tait à admettre que la densité de l'ozone était quatre fois celle de l'oxygène.

Au lieu de détruire l'ozone et d'observer l'augmentation de volume de l'oxygène ramené à l'état normal par cette destruction produite sous l'influence du feu, MM. Andrews et Tait, dans un nouveau mémoire[2], résolurent de transformer l'oxygène en ozone, dans un appareil tellement disposé qu'il fut facile d'observer les changements de volume survenus à mesure que la modification avait lieu; imaginons, en effet, qu'à un tube de verre que traversent des fils de platine d'où jailliront les étincelles fournies par une bobine, on ait soudé un tube en U d'un très-faible diamètre renfermant du mercure, et on conçoit que le mouvement du mercure dans ce tube indique les changements de pression qui pourront survenir dans le tube à gaz à mesure que les étincelles y passeront; si l'oxygène en se transformant en ozone augmente de volume, le mercure du tube en U sera refoulé dans la branche ouverte; si au contraire le volume diminue, le mercure montera dans la branche du tube soudée au réservoir à gaz. C'est là, en effet, ce qui a lieu, et on peut conclure de cette observation, comme des précédentes, que l'ozone a une densité supérieure à

[1] *Annales de chimie et de physique*, t. LII, p. 333. 1858.
[2] *Ibid.*, IIIe série, t. LXII, p. 101. 1861.

celle de l'oxygène, puisque celui-ci se contracte au moment où il se transforme en celui-là. Le procédé employé dans cette dernière recherche était mal combiné ; nous savons en effet aujourd'hui que l'ozone est absorbé par le mercure, aussi arriva-t-on à des conclusions inadmissibles: la densité de l'ozone est cinquante fois celle de l'oxygène. Toutefois, ce mémoire renfermait un fait nouveau et important : c'est que l'iodure de potassium détruit l'ozone sans que le volume total du gaz soit modifié.

M. Soret[1] répéta plus tard cette expérience, la trouva exacte, mais reconnut que l'essence de térébenthine absorbe l'ozone intégralement, et sut bientôt en profiter pour arriver à déterminer exactement la densité de l'ozone, malgré les difficultés nombreuses que comporte cette détermination. S'il est relativement facile de trouver à l'aide de la balance la densité d'un corps obtenu à l'état de pureté, il n'en est plus ainsi lorsque la matière étudiée ne forme qu'une faible fraction d'une masse gazeuse dans laquelle elle est mélangée, et c'est là précisément le cas où l'on se trouve, puisqu'on ne sait préparer l'ozone que mélangé à une grande quantité d'oxygène ordinaire.

Les méthodes détournées doivent donc seules être mises en usage. Or, si on pouvait déterminer rigoureusement la quantité d'ozone que renferme une masse gazeuse, puis d'autre part le changement de volume que supporte cette masse gazeuse quand l'ozone détruit est ramené à l'état d'oxygène ordinaire, on saurait quelle est la contraction qu'éprouve l'oxygène au moment de sa transformation en ozone ; en s'appuyant sur la densité de l'oxygène, on pourrait déterminer celle de l'ozone.

En chauffant l'ozone, on le transforme en oxygène pur avec augmentation de volume, ainsi qu'il a été dit plus haut, tandis qu'en traitant l'ozone par l'essence de térébenthine on l'absorbe entièrement. On conçoit dès lors la méthode employée par M. Soret. Il mesure un certain volume d'oxygène mélangé d'ozone, il fait pénétrer dans ce volume de gaz de l'essence de térébenthine, la diminution observée donne la quantité d'ozone contenue dans le gaz étudié ; un volume d'oxygène ozoné, précisément égal au précédent, est chauffé, et on mesure l'augmentation de volume ; or, on trouve que cette augmentation est précisément la moitié

[1] *Comptes rendus*, t. LVII, p. 604. 1863.

du volume de l'ozone absorbée par l'essence de térébenthine ; il y a donc dans un volume d'ozone autant de molécules gazeuses que dans un volume et demi d'oxygène ; la densité de l'ozone doit être une fois et demie celle de l'oxygène ou sensiblement égale à 1,658 [1].

M. Soret, au reste, ne s'est pas contenté de cette méthode de détermination, il a bientôt voulu contrôler les premiers résultats obtenus, par une autre méthode. MM. Graham et Bunsen ont étudié dans ces dernières années avec soin un phénomène important, celui de *diffusion* des gaz, c'est-à-dire de la vitesse de leur passage au travers d'orifices étroits. Nous avons vu déjà que si on fait passer au travers d'un tube poreux placé dans un tube de verre, où l'on fait le vide, un mélange de deux gaz, le plus léger se diffusera plus rapidement que le plus lourd ; on espérait, en appliquant ce procédé à de l'oxygène ozoné, avoir quelque chance de l'obtenir plus concentré, ce qui eût rendu plus facile la détermination de la densité. Malheureusement cette méthode ne put pas être utilisée, car l'ozone est ramené partiellement à l'état d'oxygène ordinaire, quand il passe au travers de diaphragmes poreux ; il fallut donc étudier seulement la diffusion libre de l'ozone en la comparant à celle d'autres gaz de densité connue.

Les recherches de M. Graham conduisent à admettre que, lorsque la diffusion s'opère par une ouverture libre sans interposition d'un diaphragme poreux, la vitesse de diffusion est exactement en raison inverse de la racine carrée de la densité des gaz sur lesquels on opère.

Sans décrire l'appareil employé par M. Soret[2], nous dirons qu'il a mélangé d'abord à l'oxygène placé dans un vase inférieur communiquant à un vase supérieur par un orifice étroit, une certaine quantité de chlore, puis qu'il a déterminé le volume de ce gaz qui avait passé au travers de l'orifice dans un temps connu ; on répéta la même opération avec de l'oxygène mélangé d'ozone, et on trouva que les quantités de gaz, chlore ou ozone, passées dans le temps déterminé, étaient proportionnelles aux quantités de ces gaz contenues dans le mélange inférieur, et de plus que l'ozone passait plus vite que le chlore, d'où on pouvait conclure que ce

[1] *Annales de chimie et de physique*, IVe série, t. VII, p. 113. 1866.
[2] *Ibid.*, IVe série, t. XIII, p. 257. 1868.

gaz avait une densité inférieure à 2,44 ; en comparant même les quantités de ces deux gaz passés, on trouve qu'elles s'accordent très-bien avec l'hypothèse déduite des considérations précédentes, à savoir que la densité de l'ozone est une fois et demie celle de l'oxygène[1].

On a cherché, enfin, à contrôler les résultats précédents en comparant la diffusion de l'ozone à celle de l'acide carbonique ; la densité de ce dernier gaz 1,529 est très-peu différente de celle qu'on admet pour l'ozone, et par suite leur diffusion doit être aussi peu différente ; l'expérience, malgré quelques irrégularités, est venue confirmer cette hypothèse ; on a trouvé que la diffusion de l'acide carbonique est un peu plus rapide que celle de l'ozone, d'où on a dû conclure que la densité de l'ozone doit être un peu supérieure à celle de l'acide carbonique.

On ne saurait nier que les méthodes employées par M. Soret ne soient d'une rare élégance ; elles concluent dans le même sens, et établissent que la densité de l'ozone est 1,658. L'ozone est donc de l'oxygène contracté, de l'oxygène combiné à lui-même ; et cette combinaison suit les lois qui régissent l'union des gaz ; quand deux volumes d'azote s'unissent à un volume d'oxygène pour donner le protoxyde d'azote, il y a contraction d'un volume sur trois ; le volume du protoxyde d'azote est le même que celui de l'azote ; il se produit une contraction analogue au moment de la formation de l'ozone, il y a combinaison de deux volumes d'oxygène avec un troisième, et cette combinaison qui constitue l'ozone n'occupe que deux volumes.

Quand l'ozone est chauffé, nous l'avons vu, il redevient oxygène ordinaire, et le troisième volume de gaz condensé pendant la combinaison est mis en liberté ; le volume du gaz augmente d'un tiers ;

[1] Pour chaque centimètre cube de chlore contenu à l'origine dans le vase inférieur, il en pénètre 0,227 dans le vase supérieur en 25 minutes ; tandis que dans le même temps, pour chaque centimètre cube d'ozone introduit dans le vase inférieur, il en pénètre 0,271 dans le vase supérieur. Le rapport de ces deux quantités $\frac{0,227}{0,271} = 0,8382$, se rapproche beaucoup du rapport inverse de la racine carrée des densités, si l'on admet que la densité de l'ozone est une fois et demie celle de l'oxygène : on a, en effet,

$$\frac{\sqrt{1,658}}{\sqrt{2,44}} = 0,8231$$

quand l'ozone est mis en contact avec l'essence de térébenthine, il est entièrement absorbé, mais il n'en est plus ainsi quand on le fait réagir sur de l'iodure de potassium, de l'argent ou du mercure. Dans ce cas, l'ozone est détruit sans changement de volume. La réaction est analogue à celle qu'exerce le potassium ou le sodium sur le protoxyde d'azote, le gaz est décomposé, l'oxygène entre en combinaison avec le métal, mais l'azote resté libre occupe le même volume que la combinaison primitive.

Tous ces faits s'expliquent très-heureusement en admettant l'hypothèse de M. Soret; la molécule d'oxygène ordinaire serait formée de deux atomes, et s'écrirait OO, un troisième atome pourrait s'ajouter à celui-là pour constituer l'ozone qui deviendrait OO,O; c'est ce troisième atome mal attaché qui se porterait facilement sur l'iodure de potassium, l'argent, le mercure, etc., pour les oxyder, et cela ainsi qu'il a été dit, sans qu'il y ait changement de volume.

Si cette hypothèse est exacte, a-t-on fait un pas dans cette direction, réputée jusqu'aujourd'hui impénétrable, la décomposition d'un corps simple? La question vaut la peine qu'on s'y arrête un instant. Nous connaissons deux variétés d'oxygène, le gaz extrait du chlorate de potasse ou de l'oxyde de mercure au moyen du feu, et le gaz odorant qui se dégage de l'eau électrolysée; l'un nous apparaît comme formé de deux atomes d'oxygène, et nous l'écrivons OO; le second est formé de trois atomes d'oxygène, il s'écrit OO,O; pendant un instant donc, l'oxygène a été décomposé, les deux atomes habituellement soudés ont été désunis; l'oxygène a été décomposé, mais aussitôt cet atome d'oxygène libéré est rentré en combinaison pour donner l'ozone : de même qu'on admet l'existence du fluor, bien qu'on n'ait pas pu l'isoler, et qu'aussitôt dégagé d'une combinaison, il pénètre dans une autre, de même nous entrevoyons l'existence d'un oxygène extraordinairement énergique, qui, allourdi par son union avec le gaz de Priestley, exerce encore des actions particulièrement vives, mais dont les propriétés seraient vraisemblablement d'une énergie encore bien plus grande s'il nous était donné de l'avoir isolé.

II

Présence de l'ozone dans l'air. — Procédé de M. Schœnbein. — Objections. — Papiers réactifs de M. Houzeau. — Nouveau réactif de M. Schœnbein. — Le protoxyde de thallium. — Recherche de l'eau oxygénée dans l'air. — Expériences de M. Houzeau. — Conclusions. — Action physiologique du grand air.

Quand les étincelles électriques traversent l'oxygène, elles l'amènent à l'état d'ozone, il est donc probable que la foudre en traversant notre atmosphère doit y déterminer la production de l'ozone; on sait, de plus, que les personnes auprès desquelles la foudre est tombée ont toujours été vivement impressionnées par l'odeur particulière qui s'est répandue autour d'elles, odeur qui vraisemblablement est celle de l'ozone ; toutefois Cavendish a montré que l'azote et l'oxygène pouvaient s'unir sous l'influence de l'étincelle électrique, de façon à donner des vapeurs nitreuses ; de telle sorte que, lorsque M. Schœnbein proposa de rechercher l'ozone dans l'air, au moyen de papiers imprégnés d'iodure de potassium et d'amidon qui bleuissent sous l'influence de l'ozone, on lui opposa bientôt l'action toute semblable qu'exerce la vapeur nitreuse ; la méthode de M. Schœnbein ne méritait pas cependant d'être traitée avec l'excessive sévérité qu'on a mise parfois à la juger ; en effet, pour que l'acide hypoazotique puisse agir sur le papier ioduré, il faut qu'il se trouve en liberté dans notre atmosphère, et c'est là ce qui n'a pas lieu habituellement ; quand on analyse l'eau de la pluie, on ne lui trouve jamais de réaction acide. « Il n'existe peut-être point de chimiste qui ait étudié et analysé l'eau de pluie plus fréquemment que moi, » dit M. Schœnbein, « surtout après les orages. Cependant je n'ai jamais rencontré d'eau pluviale capable de colorer par elle-même, à un degré quelconque, aussi faible qu'on puisse le supposer, le papier d'iodure de potassium amidonné et de rougir le papier de tournesol. » L'acide nitrique s'y rencontre cependant, mais toujours à l'état de nitrate d'ammoniaque, car la décomposition des matières organiques azotées donne naissance à du carbonate d'ammoniaque, qui, à cause de sa volatilité, se répand dans l'atmosphère et y sature bientôt les composés nitreux qui ont pu prendre naissance par la combinaison

directe de l'azote et de l'oxygène sous l'influence de l'étincelle électrique.

On conçoit, cependant, que des vapeurs nitreuses et du carbonate d'ammoniaque puissent exister simultanément dans l'atmosphère sans s'y rencontrer, et que l'état de combinaison dans lequel ils se trouvent, quand ils sont réunis dans l'eau de la pluie, peut avoir pris naissance seulement au moment où cette pluie a déterminé leur contact; en d'autres termes, de ce qu'on ne rencontre dans l'eau de la pluie que du nitrite ou du nitrate d'ammoniaque, on ne peut en conclure absolument que le carbonate d'ammoniaque et les vapeurs nitreuses ne préexistaient pas séparés dans l'atmosphère; aussi les esprits rigoureux qui recherchèrent l'ozone dans l'air voulurent d'abord se mettre à l'abri des objections que pouvait faire naître la présence possible dans l'atmosphère de vapeurs nitreuses affectant le papier ioduro-amidonné comme l'ozone lui-même. — C'est alors que M. Houzeau imagina son papier mi-ioduré imprégné de tournesol rouge vineux, qui devait bleuir dans la partie imprégnée d'iodure par la formation de la potasse due à la réaction de l'ozone sur l'iodure de potassium, mais qui devait rester rose, au contraire, dans la partie imprégnée seulement de tournesol, tant que l'ozone était en jeu; si en effet le papier était impressionné par des vapeurs nitreuses, la portion renfermant l'iodure de potassium devenait encore bleue, puisqu'il se formait du nitrite de potasse à réaction alcaline, mais l'erreur était rendue impossible par la coloration rouge vif que prenait la partie du papier coloré par le tournesol pur.

M. Schœnbein lui-même devait bientôt aussi perfectionner ses procédés de recherche en employant un nouveau réactif, moins sensible sans doute que le papier imprégné d'iodure de potassium et d'amidon, mais présentant l'avantage de n'être pas impressionné par les vapeurs nitreuses; ce sont les oxydes du nouveau métal étudié par MM. Crookes et Lamy, du thallium, qui ont fourni le nouveau réactif. M. Schœnbein a reconnu, en effet, que l'oxygène ordinaire est sans action sur le protoxyde de thallium, tandis que l'oxygène ozoné se combine rapidement avec cet oxyde pour former du peroxyde de thallium, qui est brun; le papier trempé dans la dissolution de protoxyde de thallium brunit à l'air libre comme dans l'oxygène ozoné artificiellement : on en peut

donc conclure que l'agent qui produit cette coloration est identique dans les deux cas ; qu'il existe de l'ozone dans l'air.

L'hydrogène sulfuré, il est vrai, noircit les papiers imprégnés d'oxyde de thallium, mais il est facile de distinguer le sulfure de thallium du peroxyde ; en exposant d'ailleurs des bandes de papier imprégné d'un sel de plomb à côté du protoxyde de thallium, on a vu ce dernier noircir sans que l'autre changeât ; ce qui démontrait clairement que la coloration du papier imprégné de thallium était due à l'ozone et non à l'hydrogène sulfuré qui aurait noirci le sel de plomb.

Une objection toutefois subsistait encore, l'eau oxygénée peut agir sur les papiers réactifs à l'iodure de potassium comme l'ozone lui-même, et M. Houzeau, qui depuis une dizaine d'années n'a cessé de s'occuper avec le plus grand zèle de la recherche de l'ozone dans l'air, a résolu d'examiner cette nouvelle face de la question, et de déterminer si les actions exercées par l'atmosphère sur les papiers réactifs étaient dues à l'ozone ou à la vapeur d'eau oxygénée.

Pour doser l'eau oxygénée, M. Houzeau s'appuie sur la réaction qu'exerce ce corps sur un mélange d'acide sulfurique et d'iodure de potassium suffisamment étendus d'eau, qui ne réagissent pas l'un sur l'autre quand ils ne sont pas en présence de l'eau oxygénée, mais qui donnent au contraire de l'iode libre et du sulfate de potasse, quand on y ajoute quelques gouttes de bioxyde d'hydrogène... On conçoit alors qu'on ait deux réactions très-nettes et caractéristiques ; l'iode mis en liberté colore la liqueur en rouge ou en jaune s'il est en quantité sensible ; s'il n'y en a que des traces mises en liberté et que la liqueur reste incolore, en l'agitant avec quelques gouttes de chloroforme on peut observer une coloration rose très-caractéristique. — La réaction est parfois lente à froid, mais elle se fait facilement à la température de 50° ; au reste, quand il s'agit de faire le dosage, il faut toujours faire bouillir la liqueur et chasser l'iode pour amener la décoloration complète du liquide ; on ajoute alors du tournesol, et on fait le dosage de l'acide sulfurique ajouté resté libre, à l'aide d'une liqueur alcaline très-étendue ; il est clair que si l'iodure de potassium a été partiellement décomposé par l'eau oxygénée, la potasse formée s'est combinée à l'acide sulfurique et par suite a abaissé son titre d'une quantité que l'essai détermine ; on trouve au reste facile-

ment, par le calcul, la quantité d'eau oxygénée équivalente.

Armé de cette méthode précise, dont la sensibilité est de $\frac{1}{250000000}$, M. Houzeau s'est alors efforcé de trouver l'eau oxygénée dans l'air; mais, comme il était évident que la pluie ou même la rosée condensant l'eau oxygénée de l'atmosphère représentaient des dissolutions extrêmement étendues dans lesquelles le dosage devenait impossible, il rechercha une méthode de concentration qui, différente de celle qu'on emploie habituellement, n'eût pas au même degré le grave inconvénient de détruire une partie de l'eau oxygénée qu'il s'agissait de doser; cette méthode consiste à déterminer la congélation d'une partie de l'eau mélangée à l'eau oxygénée. On sait, en effet, que ce dernier corps ne cristallise pas, et que par suite on peut appliquer à un mélange d'eau oxygénée et d'eau ordinaire, le procédé qui réussit pour concentrer les liquides alcooliques sans les distiller. M. Houzeau s'est assuré au reste que l'eau oxygénée ne prend jamais naissance pendant cette congélation[1].

C'est en employant ces procédés que M. Houzeau a recherché l'eau oxygénée dans la pluie tombée loin des villes ou dans la rosée, sans pouvoir la rencontrer; comme, d'autre part, il s'était assuré par des méthodes synthétiques qu'il caractérisait nettement l'eau oxygénée répandue en vapeur dans une atmosphère limitée, il n'hésite pas à affirmer que l'eau oxygénée n'est pas la cause des propriétés actives de l'air atmosphérique.

Cette année même, Schœnbein et M. Andrews sont revenus, au reste, sur cette question si controversée : Existe-t-il de l'ozone dans l'air? et l'un et l'autre se sont prononcés pour l'affirmative. M. Andrews[2] s'est appliqué à démontrer que l'air, agissant sur le papier ioduré et amidonné, avait toutes les propriétés d'un air artificiellement chargé d'ozone, que notamment il attaquait le mercure, qui, agité dans le vase qui le renferme, en couvre les parois de surfaces miroitantes.

Les réactions de l'ozone disparaissent quand ce corps est dirigé dans des tubes contenant du peroxyde de manganèse sec ou d'autres corps de la même classe. Il en est de même avec le corps de l'atmosphère, qu'on présume être de l'ozone. Enfin l'action de la

[1] *Annales de chimie et de physique*, t. XIII, p. 111. 1868.
[2] *Ibid.*, t. XIII, p. 474. 1868.

chaleur fournit une preuve encore plus concluante. « On sait que l'ozone est rapidement détruit à la température de 237°. On a donc disposé un appareil, dans lequel un courant d'air pouvait être chauffé à 260°, dans un ballon d'une capacité de 5 litres.

Au sortir de ce ballon, l'air traversait un tube en U long de 1 mètre et dont la paroi interne était mouillée, le tube lui-même étant plongé dans l'eau froide. En faisant passer à travers cet appareil de l'air atmosphérique, dans des conditions convenables, avec une rapidité de 3 litres à la minute, le papier ozonoscopique était distinctement coloré en deux ou trois minutes, pourvu que le ballon ne fût pas chauffé. Mais lorsque l'air qu'il contenait était porté à 260°, il n'exerçait plus aucune action sur le papier, quelle que fût la durée du courant.

« Des expériences semblables ont été faites, avec les mêmes résultats, sur l'air d'une vaste chambre artificiellement chargé d'ozone électrolytique. D'un autre côté, l'air renfermant des traces de chlore ou de vapeur nitreuse colore le papier ozonoscopique, que le ballon soit chauffé ou non.

A ces résultats vinrent s'ajouter ceux qu'obtint Schœnbein avec le papier imprégné d'oxyde de thallium rendu plus sensible à l'aide de la teinture de gaïac, que le peroxyde de thallium bleuit rapidement.

On ne peut donc plus douter que les propriétés actives de l'air atmosphérique ne soient dues à l'ozone, et c'est à ce corps qu'il faut attribuer les changements survenus dans la coloration des papiers réactifs observés régulièrement par M. Houzeau pendant les quatre années 1861-1864. Cet habile observateur a noté le nombre de jours où l'air s'est trouvé actif, et il a reconnu que l'ozone n'était pas répandu de la même façon pendant les quatre saisons ; la moyenne a été, en effet, la suivante : il s'est trouvé en hiver, 22 jours où l'air agissait sur les papiers réactifs ; — au printemps, 56 jours, — en été, 37 jours, — en automne, 19 jours seulement.

Quand des ouragans viennent fondre sur une contrée, le papier ozonométrique indique parfois l'existence d'un trouble atmosphérique, à une certaine distance du point sur lequel il s'est manifesté.

« Depuis plusieurs jours, » rapporte M. Houzeau, le papier mi-

ioduré n'accusait guère d'activité chimique dans l'air de Rouen (au moins dans les limites de sa sensibilité), lorsque, sans cause apparente, il prit, dans la journée du 21 septembre 1865, une coloration bleue intense. L'air était donc devenu très-actif. Cependant rien dans l'état de l'atmosphère locale ne pouvait faire prévoir un pareil résultat; le temps était magnifique comme les jours précédents (ciel pur, soleil, air calme, quoique un peu plus agité que la veille).

« L'énigme fut expliquée, quand on apprit le lendemain, 22 septembre, qu'une formidable trombe, pluie torrentielle, tonnerre avec chute de foudre et vent impétueux, s'était abattue la veille, 21 septembre, à 2 heures du soir, sur Étretat, situé sur les bords de la mer à 70 kilomètres nord-ouest de Rouen. »

La grande tempête ou tourbillon des 2 et 3 décembre 1863 avait également produit sur les réactifs mi-iodurés des effets chiques semblables aux précédents.

La présence de l'ozone dans l'air est donc un fait démontré; il y est plus ou moins abondant et on conçoit sans peine qu'une matière aussi active puisse avoir une action marquée sur les organes, l'influence vivifiante du grand air n'est pas douteuse, est-ce à l'ozone qu'il faut l'attribuer, nous l'ignorons; a-t-il une influence sur les organismes répandus dans l'air auxquels on attribue aujourd'hui une influence sans doute exagérée sur nombre de phénomènes morbides, nous l'ignorons encore; mais la réserve que nous croyons devoir garder encore sur cette importante question n'est pas générale et dans un des derniers mémoires qu'il devait publier, Schœnbein n'hésite pas à se prononcer très-nettement.

« Nous ne pouvons pas dire encore avec certitude comment les gaz, provenant de la putréfaction des matières organiques azotées, compromettent la santé, mais ce qu'on peut affirmer, c'est qu'une atmosphère pure est évidemment plus saine que celle qui contient des miasmes; à ce point de vue, on peut déjà admettre que la présence de l'ozone serait d'un puissant secours pour opérer la purification de l'air.

« Il est également possible que l'ozone détruise, par suite de l'oxydation prompte qu'il détermine, les animalcules invisibles qui se trouvent dans l'atmosphère ; ce qui se comprend aisément

puisque de petits animaux, comme une souris par exemple, succombent pour avoir respiré une faible quantité d'ozone [1]. »

Arrêtons-nous, car toute affirmation sur cette question délicate nous paraîtrait prématurée; cette année a vu établir la présence de l'ozone dans l'air, c'est un point acquis, il faut partir de là pour avancer davantage ; peut-être, dans quelques années, ceux de nos confrères qui veulent bien traiter les questions médicales dans l'*Annuaire*, pourront-ils nous donner les résultats observés, *sur l'influence physiologique de l'ozone atmosphérique.*

P.-P. DEHÉRAIN.

III

LA DISSOCIATION.

TRAVAUX DE MM. H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE, DEBRAY, HAUTEFEUILLE ET ISAMBERT.

Des cristaux transparents de carbonate ou de phosphate de soude exposés à l'air ne tardent pas à se tacher de plaques blanches de sel effleuri; du chlorure de calcium saturé de gaz ammoniac perd peu à peu à la température ordinaire le gaz qu'il avait condensé ; du marbre chauffé au rouge donne de la chaux vive et de l'acide carbonique, enfin à une température élevée, l'eau elle-même se résout partiellement en oxygène et hydrogène : ces exemples et nombre d'autres prouvent que les corps composés ont une tendance à se résoudre en leurs éléments, qui s'exalte avec l'intensité de la chaleur à laquelle ils sont soumis. L'étude de ces décompositions, des circonstances qui les favorisent ou les retardent, entreprise d'abord par M. H. Sainte-Claire Deville, a fourni aux chimistes qui travaillent à l'École normale une source de travaux remarquables, qu'il nous a paru d'autant plus utile de résumer qu'ils se lient au mouvement qui se produit depuis plusieurs années sur la nature des forces mises en jeu par les combinaisons chimiques.

Ce mouvement semblable à celui qui entraîne les autres parties de la science tend à réunir ce qu'on séparait autrefois ; nos devan-

[1] Cette dernière observation ne doit pas être admise sans de nombreuses vérifications.

ciers, surtout frappés des différences, ont divisé à l'excès, aujourd'hui nous recherchons au contraire les analogies et nous n'admettons plus les distinctions qu'ils faisaient. Le travail immense qui s'accomplit en chimie multiplie, il est vrai, les êtres nouveaux avec une profusion inouïe, mais une brillante école veut que ces produits, si nombreux qu'ils soient, n'appartiennent qu'à quatre types primitifs; elle s'efforce de ramener chacun de ces corps à la structure d'un de ces types, comme les minéralogistes retrouvent sous les faces les plus compliquées d'un cristal la forme primitive à laquelle il appartient. Non-seulement les êtres matériels sont ainsi réunis en un petit nombre de groupes, mais encore les forces qui agissent sur eux, et qu'on distinguait naguère, se confondent aujourd'hui; le fluide magnétique n'existe plus, la force catalytique fait sourire; enfin les travaux dont nous allons essayer de rendre compte établissent des rapprochements remarquables entre l'*affinité* et la *cohésion* et montrent que non-seulement ces deux forces sont vaincues par l'action de la chaleur, mais encore que les différentes phases du combat se répètent avec une telle similitude, qu'il semble que la chaleur n'ait toujours devant elle qu'un seul et unique adversaire, combattant sous des couleurs différentes.

Un liquide émet pour chaque température une certaine quantité de vapeur; élève-t-on cette température, de la vapeur se forme en plus grande quantité, sa tension augmente, elle est capable de faire équilibre à une pression mercurielle plus considérable; laisse-t-on au contraire la température baisser, une partie de la vapeur se condense et la tension diminue; la force vaincue, régulièrement vaincue par la chaleur, est, dans ce cas, l'attraction qui s'exerce entre des matières de même nature, la cohésion; les phénomènes observés dans l'efflorescence des sels hydratés, dans la décomposition des chlorures ammoniacaux, dans celle même du carbonate de chaux, soumis à des températures variables, sont calqués sur les précédents, et cependant, dans ce cas, la force vaincue est l'*affinité*, la force s'exerçant entre des molécules hétérogènes.

C'est de cette similitude des résultats fournis par l'action de la chaleur dans le changement d'état et dans la décomposition, que nous voulons trouver un argument contre la séparation absolue établie à l'origine entre l'affinité et la cohésion.

Exposons donc les faits, et bien que M. Debray ait étudié d'abord la décomposition du carbonate de chaux, nous décrirons en

premier lieu les faits plus simples relatifs à la dissociation des sels efflorescents.

Lorsqu'on mesure la tension de la vapeur d'eau émise par un sel hydraté dans un espace vide, on constate que cette tension varie avec la température, mais qu'elle est constante pour une température déterminée. Si, après avoir échauffé le sel, on le laisse revenir à une température inférieure, la tension de la vapeur diminue, parce que le sel effleuri absorbe rapidement une partie de l'eau dégagée et reprend la valeur qu'elle avait acquise pour cette même température pendant la période d'échauffement.

Plaçons du carbonate de soude dans le vide à la température de 20°, par exemple, la vapeur d'eau émise fera équilibre à une certaine hauteur mercurielle; absorbons cette eau et recommençons l'expérience à la même température, le niveau du mercure retombera à ce qu'il était précédemment; la quantité de vapeur d'eau qui peut s'échapper du sel reste limitée par la pression qu'exerce cette eau gazeuse sur l'eau encore solide, comme dans les expériences sur la tension des vapeurs ; l'eau gazeuse pèse sur l'eau liquide et l'empêche de se volatiliser tant que la température reste constante.

En s'appuyant sur la loi précédente, on s'explique facilement la condition d'efflorescence ou d'hydratation d'un sel effleuri placé dans une atmosphère illimitée. La pression de l'air n'ayant pas d'influence sensible sur la tension des vapeurs qui s'y forment, un sel s'effleurit lorsque la tension de la vapeur est supérieure à celle de la vapeur d'eau existant dans l'atmosphère, à la température de l'expérience ; au contraire, un sel effleuri s'hydrate dans l'air si la force élastique de la vapeur contenue dans l'atmosphère est supérieure à celle qu'émet à la même température le sel effleuri.

M. Debray, à qui on doit ces intéressantes observations, fait remarquer judicieusement que la tension de la vapeur émise par un sel efflorescent reste constante pour une même température tant qu'on la constate pour un certain hydrate bien déterminé, mais qu'elle varie au contraire au moment où l'on passe à un autre hydrate; ainsi, le phosphate de soude cristallisé ordinaire qui renferme 24 équivalents d'eau de cristallisation, se décompose d'abord comme une combinaison d'eau et d'un hydrate renfermant 14 équivalents d'eau d'hydratation. Cette première phase terminée, le sel à 14 équivalents d'eau se dissocie à son tour, mais

avec une tension moindre. « On voit qu'une étude approfondie de la tension de vapeur des sels hydratés, ajoute M. Debray, permettrait de reconnaître les divers hydrates qu'un même sel est susceptible de fournir[1]. »

M. Isambert s'est chargé de vérifier cette prévision en étudiant, cette année même[2], la décomposition sous l'influence de la chaleur des chlorures ammoniacaux. — On sait que le gaz ammoniac peut être absorbé par les chlorures avec une grande énergie; les chlorures de phosphore et de silicium s'unissent au gaz ammoniac avec un tel dégagement de chaleur, que les vases de verre, dans lesquels s'opère la combinaison, sont souvent brisés; les chlorures métalliques forment un grand nombre de combinaisons bien définies, dont quelques-unes résistent à l'action du feu, tandis que d'autres, au contraire, perdent facilement sous l'influence de la chaleur le gaz qu'ils ont absorbé à une basse température. C'est précisément de ces chlorures que M. Isambert s'est occupé; à l'aide d'un appareil ingénieux[3], ce savant chimiste est parvenu à déterminer rigoureusement la quantité de gaz ammoniac que les chlorures pouvaient absorber, puis perdre à une température déterminée. Les lois formulées plus haut par M. Debray se sont encore vérifiées avec une grande exactitude ; la tension que présente le gaz ammoniac s'échappant de sa combinaison avec le chlorure d'argent, de calcium, de zinc, etc., est encore constante avec la température pour un composé déterminé, mais les variations brusques que présente parfois la colonne mercurielle qui mesure la pression montrent qu'un composé différent du premier, présentant par conséquent une nouvelle tension de dissociation pour la température à laquelle on opère, commence à se décomposer à son tour, et accuse ainsi nettement l'existence de plusieurs composés particuliers, qui perdent leur gaz à des températures variables[4].

[1] *Comptes rendus*, tome LXVI, p. 194, 1868.

[2] Thèse pour le doctorat soutenue en juin 1868.

[3] M. Isambert, pour faire facilement le vide dans ses appareils, s'est servi de l'appareil de Geissler, construit par M. Alvergniat. Voy. *Annuaire de* 1868, page 241.

[4] Ces expériences démontrent une fois de plus que ces chlorures ammoniacaux sont formés par la juxtaposition du gaz ammoniac et des chlorures, et qu'ils ne présentent en aucune façon les formules compliquées sous lesquelles on les désigne parfois ; nous étions arrivés à la même conclusion

Les combinaisons définies seules présentent ce caractère de se décomposer avec une tension de vapeur constante pour une température déterminée ; en examinant la tension du gaz ammoniac séparé de l'eau ou du charbon par l'action de la chaleur, on a toujours constaté que la tension variait pour une même température[1]. Le gaz ammoniac est retenu plus énergiquement par les chlorures que par l'eau et le charbon, et, quelle que soit la proportion du composé défini déjà détruit, le gaz émis fait équilibre à la même pression mercurielle tant que la température reste constante.

Le lecteur nous permettra d'insister sur ce fait remarquable, deux corps combinés, l'eau et le sel, le gaz ammoniac et le chlorure désunis par l'action du feu se séparent exactement de la même façon que de l'eau gazeuse se sépare de l'eau liquide ; en d'autres termes, le changement d'état suit les mêmes lois que la décomposition ; et cela a lieu, non-seulement entre des corps unis par une faible attraction, mais aussi pour un acide et une base : pour l'acide carbonique et la chaux.

Le mode de décomposition du carbonate de chaux soumis aux températures fixes qu'on peut obtenir en le plongeant dans des liquides en ébullition est encore analogue aux précédentes: la décomposition du spath d'Islande, nulle à 350° (ébullition du mercure), insensible à 440° (ébullition du soufre), très-appréciable à 860° (ébullition du cadmium), s'arrête à cette température lorsque l'acide dégagé dans l'appareil exerce une pression de 85 millimètres de mercure, pour reprendre quand on absorbe ce gaz, et s'arrêter de nouveau aussitôt qu'il atteint encore cette pression de 85 millimètres. A 1,040° (point d'ébullition du zinc), la décomposition est bien plus considérable; elle ne s'arrête qu'au moment où la pression du gaz acide carbonique dégagé est de 510 à 520 millimètres. Ainsi qu'il a été dit, si on absorbe le gaz

dans le mémoire où nous avons établi que la plupart de ces combinaisons doivent être considérées comme des chloramides. (*Annales du Conservatoire des arts et métiers*, tome V, page 106, 1864.)

[1] M. Isambert fait remarquer que les machines dans lesquelles on emploie comme force motrice le gaz ammoniac dégagé de sa dissolution dans l'eau, présentent ce grave inconvénient, que la pression obtenue n'est pas constamment la même pour une même température. Voy. *Annuaire de* 1868, page 174, la description de la machine à ammoniaque.

acide carbonique à mesure qu'il se produit, la décomposition continue et peut être constante, on reconnaît donc l'utilité de la vieille pratique des chaufourniers, qui jettent de l'eau dans le four où se décompose le carbonate de chaux, de façon à enlever l'acide carbonique au moyen d'un courant de vapeur et à déterminer ainsi une décomposition nouvelle du calcaire.

Si dans les appareils de M. Debray[1] on laissait refroidir lentement la chaux, elle réabsorbait tout l'acide carbonique dégagé d'abord, et l'on retrouvait le vide dans l'appareil, exactement comme en condensant la vapeur émise par un liquide.

La fraction de carbonate de chaux décomposée n'influe pas sur la tension de décomposition; on a pu mélanger au spath, dont on suivait la décomposition, une certaine quantité de chaux vive, sans que la tension du gaz dans l'appareil présentât la moindre variation. Ainsi, de même qu'une certaine quantité de vapeur produite au contact d'un liquide oppose un obstacle absolu à la formation d'une nouvelle quantité de vapeur et qu'on a pu construire des tables de tension de la vapeur d'eau, par exemple, pour des températures variées; de même un gaz provenant de la décomposition, sous l'influence de la chaleur, d'une substance comme le carbonate de chaux, présente pour une certaine température un maximum de tension qu'il ne peut dépasser : le rapprochement si heuseusement fait par M. Deville entre la dissociation et l'émission des vapeurs par un liquide est donc complétement justifié.

Les expériences de M. Gernez sur l'influence d'un courant gazeux sur la décomposition des bicarbonates ou de l'eau oxygénée établissent encore que la dissociation est activée quand le gaz qui se dégage est entraîné par le courant qui traverse le liquide; ce qui s'oppose à l'évaporation ou à la dissociation, c'est la présence dans l'atmosphère, qui surmonte le liquide à évaporer ou le corps à décomposer, de la vapeur ou du gaz émis par la matière en évaporation ou en décomposition; aussitôt que ce gaz ou cette vapeur sont entraînés, une nouvelle proportion ou de vapeur de gaz prend naissance, et par suite l'évaporation ou la décomposition, loin de rester stationnaires, deviennent continues[2].

[1] *Comptes rendus*, tome LXIV, 1867, p. 603.

[2] Voy. dans l'*Annuaire de* 1868 : les Changements d'état des corps, par M. Rayet.

Ce ne sont pas seulement, au reste, les matières peu stables, comme les sels hydratés, les chlorures ammoniacaux ou l'acide iodhydrique[1] qui peuvent se réduire en leurs éléments sous l'influence de la chaleur : nous savons que nombre d'autres corps sont encore capables de se décomposer quand ils sont soumis à une haute température, et ceux même qui ne se décomposent qu'incomplétement commencent cependant à se dissocier, de même qu'un corps volatil émet des vapeurs avant d'entrer en ébullition. Nous avons déjà insisté sur ces décompositions[2], et nous voulons seulement revenir ici sur celles d'entre elles qui n'étaient pas connues au moment où nous écrivions il y a quatre ans. M. Deville a, non-seulement montré que l'eau est susceptible de se décomposer sous l'influence de la chaleur, mais encore que l'acide carbonique lui-même se résout en oxygène et en oxyde de carbone; enfin la décomposition de celui-ci a pu être montrée à l'aide d'une disposition très-ingénieuse : dans un tube de porcelaine porté à une haute température, on dispose un tube de laiton qui parcourt constamment un courant d'eau froide. On a ainsi, dans un espace restreint, une surface cylindrique de porcelaine violemment chauffée et une surface de laiton concentrique très-froide. Les molécules d'oxyde de carbone qui s'échauffent dans les parties inférieures du tube de porcelaine s'élèvent rapidement, après s'être décomposées partiellement en oxygène et charbon; mais ce courant rencontre la paroi froide et rugueuse du tube de laiton, et les particules de charbon s'y fixent mécaniquement. A partir de ce moment, refroidies comme elles le sont par l'eau qui circule dans le tube de métal, ces particules échappent désormais à l'action de l'oxygène ou de l'acide carbonique que cet oxygène peut former aux dépens de l'oxyde de carbone en excès. On retrouve, en effet, le tube de laiton noirci par le charbon, surtout à la partie inférieure que les molécules viennent choquer en s'élevant de la paroi inférieure. Ces tubes parcourus par un courant d'eau froide peuvent fonctionner à la façon d'une trompe; s'ils sont munis d'une fente étroite, ils aspirent les gaz contenus dans le tube ou dans le foyer où ils sont introduits.

[1] Note de M. Hautefeuille, *Comptes rendus*, tome LXIV, p. 608. 1867.
[2] *Annuaire de* 1865 : les Hautes températures.

L'acide sulfureux, sous l'influence d'une température de 1,300°, se décompose en soufre et acide sulfurique anhydre. On constate cette décomposition à l'aide d'un tube de laiton recouvert d'argent, qui est bientôt attaqué par le soufre mis en liberté et converti en sulfure d'argent. La décomposition de l'acide chlorhydrique peut encore être constatée à l'aide d'un tube recouvert d'argent amalgamé, complétement inattaquable par l'acide chlorhydrique, mais attaquable au contraire par le chlore libre, car on reconnaît sur le tube parcouru par un courant d'eau froide, la présence du chlorure de mercure.

M. H. Sainte-Claire Deville indique encore, dans les deux remarquables Leçons sur la dissocation qu'il a faites en 1864, devant la Société chimique, un rapprochement entre l'évaporation et la dissociation qu'il faut citer ici : Si on examine la quantité de vapeur émise par un liquide, on reconnaîtra sans peine que si la pression reste constante, cette quantité sera d'autant plus considérable, que la température sera plus élevée, l'action d'écartement des molécules exercée par la chaleur sera d'autant plus efficace, que la chaleur sera elle-même plus intense ; or, si nous admettons que les analogies entre l'évaporation et la dissociation sont exactes, que deux corps capables de se combiner sont désunis par l'action du feu comme des molécules capables de se condenser en liquide, sont écartées jusqu'à l'état de vapeur, il faudra conclure de ces analogies qu'il y aura dans un mélange gazeux susceptible d'entrer en combinaison, d'autant moins de gaz combinés que la température sera plus élevée, ou réciproquement, si c'est la combinaison même de ces gaz qui détermine l'élévation de température, on reconnaîtra, bien que cette conclusion puisse paraître paradoxale, qu'au point où la température sera le plus élevée, il y aura moins de gaz combinés qu'au point où la température sera plus basse.

En se servant, avec l'admirable ingéniosité qui caractérise ses travaux, de ce tube fendu dans lequel circule un courant d'eau froide, M. Deville a nettement montré le fait pour le chalumeau à gaz oxygène et oxyde de carbone ; si, au moment où les gaz sortent du chalumeau, ils sont aspirés par cette *trompe*, ils renferment pour 100 parties, 64, 4 d'oxyde de carbone et 33, 3 d'oxygène, c'est-à-dire qu'ils sont dans les proportions convenables pour qu'il se forme de l'acide carbonique (1 volume CO, $\frac{1}{2}$ vol. O);

à 10 millimètres au-dessus où le platine fond en lançant des étincelles et où se produit le point maximum de chaleur, les proportions sont 55, 1 d'oxyde de carbone et 36,5 d'oxygène ; à 15 millimètres, où la température détermine seulement la fusion du point, l'oxyde de carbone est 40 et l'oxygène 32,9. L'azote atmosphérique a déjà pénétré dans la flamme et sa proportion est de 27, 1 ; enfin, à mesure qu'on s'élève davantage dans la flamme, le refroidissement devient de plus en plus sensible, les gaz ne sont plus écartés par la chaleur produite par la combinaison, et à 67 millimètres de distance de l'orifice, où on ne trouve plus aux gaz que la composition de l'air atmosphérique, la température est à peine suffisante pour déterminer la fusion de l'argent.

M. Deville compare les résultats ainsi obtenus à ceux qui se produisent quand un jet de vapeur est lancé contre un morceau de glace, qui fond d'autant plus vite, qu'il est plus rapproché de l'orifice d'écoulement, qu'il est plus voisin du point où la vapeur n'a pas perdu, par le contact de l'air extérieur, la chaleur qu'elle apporte de la chaudière.

Ainsi, sous l'influence de la chaleur, les corps qui paraissent unis par l'affinité la plus puissante sont séparés en leurs éléments, et, quand il est possible de suivre la loi qui préside à leur décomposition, on observe qu'elle est identique avec celle qui régit la volatilisation. C'est là l'argument qu'invoque M. Deville pour combattre l'existence de deux forces différentes, agissant l'une entre des molécules d'espèce différente, l'autre entre des molécules de même nature. Le savant chimiste de l'École normale voudrait même aller plus loin ; pour lui, le mot *affinité* n'a aucun sens précis ; il devrait être banni de la science ; l'étude des dégagements de chaleur que déterminent les phénomènes chimiques, lui paraît avoir un tout autre intérêt ; c'est, d'après lui, le chemin qu'il faut suivre pour pénétrer le mécanisme des actions chimiques ; il s'accorde, en ce dernier point, avec M. Dumas, qui enseigne depuis longtemps que deux corps se combinent tant qu'ils ont de la chaleur à dépenser, et que c'est seulement lorsqu'ils ont dépensé toute cette chaleur, que la force de combinaison s'éteint en eux. Sans entraîner le lecteur dans cette voie nouvelle encore mal explorée, sans rappeler que M. H. Sainte-Claire Deville a pu calculer la chaleur latente de combinaison, comme on calcule la chaleur latente de fusion ou

de volatilisation, nous ne saurions passer sous silence l'opinion qui espère rattacher les forces qui agissent au contact apparent à celles qui s'exercent entre les astres et déterminent leurs mouvements. Newton, avec l'intuition du génie, avait tenté ce rapprochement il y a deux cents ans, et M. Dumas a rappelé récemment les titres incontestables qu'a l'illustre savant anglais à être compté parmi les fondateurs de la chimie. Newton rapporte à l'attraction « cette force quelconque, quelle qu'en soit la cause, par laquelle les corps tendent réciproquement les uns vers les autres, » cette force qui détermine les phénomènes chimiques.

« Si l'acide du vitriol chasse du sel marin ou du nitre les acides qui y sont contenus, c'est qu'il est plus vivement attiré qu'eux par leur alcali fixe, lequel, n'étant pas capable de retenir deux acides à la fois, laisse échapper le sien.

« Si la potasse précipite les dissolutions métalliques, c'est que les particules solides sont plus fortement attirées par l'alcali que par le métal.

« Si une dissolution de cuivre dissout le fer et laisse aller le cuivre, si une dissolution d'argent dissout le cuivre et laisse aller l'argent, etc., n'est-ce pas que les particules acides sont plus attirées par le fer que par le cuivre, par le cuivre que par l'argent? »

Ainsi Newton rapproche de l'attraction les forces chimiques, et c'est bien aussi à cette idée que se rattache Robert Mayer quand il cherche l'origine de la chaleur dégagée dans les actions chimiques, dans le choc de ces molécules vivement attirées l'une vers l'autre.

A coup sûr, toutes ces idées sont encore confuses, et le temps est sans doute éloigné où nous arriverons à les formuler d'une façon claire; on ne peut cependant manquer d'être frappé de la profonde intuition de Newton, et, en suivant la voie qu'il nous a ouverte, on pourrait peut-être se faire une idée féconde sur la constitution des corps, en supposant leurs atomes réunis dans un ordre régulier qui détermine probablement la forme cristalline[1] formant des sortes de systèmes planétaires en équilibre, analogues à ceux que nous voyons épars dans la voûte céleste; quelques difficultés qu'il y ait encore à marcher dans cette voie, il faut s'y engager résolûment, et depuis deux siècles

[1] Voy., sur ce sujet, les idées singulièrement originales de M. Gaudin, *Réforme de la chimie minérale et organique*, Germer-Baillière, 1865.

Newton nous y invite ; c'est de lui en effet que sont les paroles suivantes, qui semblent écrites d'hier, tant elles répondent aux préoccupations qui nous assiégent aujourd'hui :

« Dire que chaque espèces de choses est douée d'une qualité occulte spécifique, par laquelle elle a une certaine puissance d'agir et de produire certains effets sensibles, c'est ne rien dire du tout. Mais déduire des phénomènes de la nature deux ou trois principes généraux de mouvement et faire voir ensuite comment les propriétés et les actions de toutes les choses corporelles découlent de ces principes constatés, ce serait faire un grand progrès dans la philosophie, quoique les causes de ces principes eux-mêmes ne fussent pas encore connues. »

P.-P. Dehérain.

IV

NOTICE BIOGRAPHIQUE.

SCHŒNBEIN

« Les amis de M. Schœnbein avaient le droit et avaient pris l'habitude de lui demander, lorsque l'occasion de le rencontrer se présentait, non pas : « Qu'avez-vous fait de nouveau ? » Mais « Qu'avez-vous d'étonnant à nous dire ? » Car il semblait fait pour donner un corps aux rêves de la science. » Ainsi disait l'illustre secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, M. Dumas, au moment où il annonça la mort du savant professeur de Bâle.

On ne saurait mieux caractériser l'esprit de Schœnbein : la découverte de l'ozone seulement entrevu par Van Marum, la production, dans une foule de circonstances, d'un corps qui paraissait ne pouvoir être obtenu que par les réactions les plus délicates du laboratoire, l'eau oxygénée ; enfin la transformation de la cellulose, du coton, du vieux linge, en une matière fulminante, la découverte du coton-poudre, sont non-seulement des travaux faits pour illustrer le chercheur auquel ils sont dus, mais encore

pour donner à son nom un éclat qui dépasse le monde savant, et appelle l'attention des indifférents.

Christian-Frederick Schœnbein est né le 18 octobre 1799 à Metzingen, dans le royaume du Wurtemberg; il était donc Allemand, mais sa vie se passa presque tout entière à Bâle, et à ce titre, il semble plutôt appartenir à la Suisse qu'à l'Allemagne. Bien que la famille de Schœnbein fût peu aisée, elle lui donna une bonne éducation ; à quatorze ans, il entra dans une fabrique de produits chimiques, mais bientôt il sentit que l'étude était sa vocation. Il séjourna aux universités de Tubingen et d'Erlangen, visita la France et l'Angleterre, et enfin se rendit à Bâle comme professeur de chimie et de physique en 1828 ; d'abord suppléant, il fut nommé titulaire en 1835. Pendant près de quarante années, il a continué son enseignement dans cette ville avec une rare activité ; il avait la passion de la science ; son maître à Erlangen, le célèbre philosophe Schelling, lui avait enseigné « à la regarder comme sa fiancée. » Il travaillait constamment, et même dans ses dernières années, il avait l'habitude de se rendre à son laboratoire de grand matin, et répondait en souriant, à ceux qui s'en étonnaient, qu'il savait bien qu'il ne lui restait que peu de temps à travailler et qu'il avait cependant encore « beaucoup de filasse à sa quenouille. »

Il est peu de découvertes qui aient plus vivement attiré l'attention du public que la préparation du coton-poudre ; quand on a trempé pendant quelques instants le coton dans un mélange d'acide sulfurique et l'acide azotique et qu'après l'avoir lavé à grande eau, on l'a fait sécher, il semble qu'il ne soit modifié en rien : il a conservé la même apparence, le même aspect, et cependant, aussitôt qu'on en approche une flamme, il brûle rapidement, sans laisser de traces. La combustion est si rapide, qu'on peut enflammer le coton-poudre dans la main sans être blessé ; en 1846, au moment où la découverte de Schœnbein fut connue, tout le monde s'en occupa ; il ne fut plus question que du coton-poudre, on le célébra en vers et en prose ; une des *revues* représentée sur un des théâtres de Paris s'appelait *le Coton-poudre*.

Si cette matière ne répondit pas aux espérances qu'elle avait fait naître d'abord, et si on ne put l'employer dans les armes à feu, qu'elle brise rapidement, elle reçut bientôt d'autres applications ; dissoute dans l'éther, elle constitue le collodion, qu'uti-

lisent les chirurgiens et les photographes ; enfin elle fournit un exemple remarquable de la combinaison d'un acide avec une matière neutre et, à ce titre, apparaît comme un premier jalon, qui devait servir de guide pour passer de la famille des alcools, si faciles à combiner aux acides, à celle des matières sucrées qui ne donnent plus ces combinaisons avec la même facilité.

Quel est le chimiste qui n'a pas rêvé la gloire immortelle de décomposer un des corps considérés aujourd'hui comme élémentaires ? quel est celui qui, au moins, n'a pas eu le vif désir de faire un pas dans cette voie, en montrant que la même espèce de matière se présente sous des aspects très-différents ? Schœnbein a eu ce dernier honneur, en étudiant l'ozone pendant la plus grande partie de sa vie ; c'est en 1840 que, pour la première fois, il obtint le *gaz odorant* en décomposant l'eau par la pile, et cette année même, les *Annales de chimie et de physique* publient encore, sur cette question, un mémoire important, le dernier que devait écrire Schœnbein. Ce n'est pas du premier coup qu'on arriva à se convaincre que l'ozone n'est que de l'oxygène modifié ; on crut d'abord qu'on avait rencontré un nouvel oxyde d'hydrogène, et c'est seulement après les travaux de MM. Marignac et de la Rive en Suisse, de MM. Fremy et Ed. Becquerel en France, qu'on arriva à la notion claire que nous avons aujourd'hui. L'histoire de l'ozone doit beaucoup, cependant, à Schœnbein ; non-seulement il sut le produire par la pile, mais aussi, par le contact de l'oxygène et du phosphore, il le rechercha dans l'air, et imagina, pour le caractériser, les fameux papiers imprégnés d'iodure de potassium et d'amidon, dont les indications peu précises ont suscité tant de discussions.

Il ne faut pas s'attendre à rencontrer dans Schœnbein un de ces esprits méticuleux n'avançant une hypothèse qu'en l'appuyant sur des preuves nombreuses ; le professeur de Bâle était tout autre ; aucune témérité ne l'effrayait, et, pour expliquer les curieux résultats qui naissaient sous sa main habile, il se laissait aller aux imaginations les plus hardies. S'il ajoute aux décompositions si curieuses de l'eau oxygénée par l'oxyde d'argent et le peroxyde de baryum, déjà observées par Thénard et Wohler, plusieurs faits nouveaux, il n'imite pas leur sage réserve : il veut comprendre pourquoi deux corps oxygénés se décomposent mutuellement, comment la décomposition de l'eau oxygénée détermine celle

de l'oxyde d'argent, ou du peroxyde de manganèse, et il imagine qu'il existe deux ozones différents : l'un, l'ozone actif, qui se trouve dans le peroxyde de manganèse ; l'autre, l'antozone qui existe dans l'eau oxygénée ; ces deux corps sont capables de s'unir comme le font deux substances différentes pour fournir de l'oxygène ordinaire, bien qu'il n'arrive pas à isoler l'antozome et à le caractériser nettement ; bien que les objections surgissent de toutes parts, Schœnbein persiste, il ne s'émeut d'aucune difficulté ; l'eau oxygénée, en se développant sous l'influence du platine, dégage de l'oxygène ordinaire, ce qui ne devrait pas être, puisque le platine est incapable de fournir, à l'antozone, l'ozone nécessaire pour l'amener à l'état inactif : il n'en tient pas compte ; si les faits résistent à ses interprétations, il passe pardessus les faits. C'est ainsi qu'il n'hésite pas à considérer le chlore comme une combinaison oxygénée, ainsi que l'avait fait autrefois Berthollet, aussitôt que cela est utile à sa théorie [1].

L'esprit humain est tellement fait, que c'est souvent en s'acharnant à démontrer une erreur qu'il rencontre les vérités les plus curieuses ; peut-être que si Schœnbein n'avait pas imaginé cette théorie peu probable des deux ozones, de la *polarisation* de l'oxygène ordinaire en deux atomes doués de propriétés opposées, antagonistes, il n'eût pas trouvé les faits curieux qu'il nous a dévoilés au sujet de l'eau oxygénée. — Thénard avait indiqué depuis longtemps le mode de préparation de cette curieuse matière, à l'aide d'un acide et du bioxyde de baryum, et ce procédé est le seul qui fournisse l'eau oxygénée en quantités notables, mais elle se produit cependant en faibles proportions dans nombre de circonstances variées. Laisse-t-on du phosphore, à moitié plongé dans l'eau, s'oxyder dans l'eau humide, on découvre bientôt dans le liquide une proportion sensible d'eau oxygénée ; quand l'éther s'oxyde à l'air, quand du plomb amalgamé est agité au contact d'un acide étendu, de l'eau oxygénée prend encore naissance : c'est donc non-seulement l'oxygène qui se dégage d'une combinaison, l'oxygène *naissant*, qui est capable de se combiner à l'eau ; c'est encore l'oxygène qui va pénétrer dans une combinaison, l'oxygène *mourant*, suivant l'expression heureuse de M. Dumas, qui est capable de fournir l'eau oxygénée ; elle se détruit, au

[1] *Annales de chimie et de physique*, IIIe série, t. LV. 1859.

reste, avec une extrême facilité, nombre de matières la décomposent, et notamment la fibrine ; on ne saurait manquer d'être frappé de la production facile et constante de l'eau oxygénée dans tous les phénomènes d'oxydation et de sa destruction par une matière qui forme une des parties importantes du tissu des animaux ; il ne serait pas impossible que l'eau oxygénée jouât, dans les phénomènes de la vie, un rôle à peine entrevu jusqu'à présent.

Pour reconnaître ces traces d'eau oxygénée il faut des réactifs délicats ; M. Schœnbein ne manquera pas de les faire connaître, et quelques-unes de ces indications reposent sur des faits bien imprévus. Qu'on obtienne, avec de l'eau oxygénée, des peroxydations, ainsi que l'a montré Thénard, personne ne peut s'en étonner ; que l'acide chromique jaune se transforme sous l'influence de ce liquide instable en acide perchromique bleu, qui, recueilli dans l'éther, communique à celui-ci une teinte bleue caractéristique, on le conçoit sans peine ; mais que, sous l'influence de ce même agent d'oxydation, le permanganate de potasse perde sa belle coloration rose et soit désoxydé, réduit, cela est fait pour surprendre davantage, et on comprend que, devant la difficulté d'interpréter un fait aussi étrange, Schœnbein ait persisté dans son hypothèse des deux oxygènes actifs se réunissant pour donner l'oxygène ordinaire ; si, en effet, l'eau oxygénée renferme un de ces atomes d'oxygène, l'acide permanique l'atome opposé, on conçoit que, mis en présence, ces deux corps abandonnent chacun un *atome* d'oxygène pour fournir la molécule d'oxygène libre fournie par la combinaison de l'ozone et de l'antozone [1].

Nous n'avons pas l'intention de discuter le degré de vraisemblance que présente cette théorie, il nous suffit de l'énoncer et de rappeler que Schœnbein n'a été choqué par aucune des difficultés qu'elle rencontre, pour qu'on se fasse une idée de cet esprit hardi, novateur, peu érudit, peu critique, mais qui avait cette rare étincelle qui n'appartient qu'à l'inventeur.

[1] Nous avons cru devoir laisser à Schœnbein les faits précédents relatifs à l'action de l'eau oxygénée sur quelques composés oxygénés, et il est probable, en effet, qu'il les a trouvés sans avoir eu connaissance d'un mémoire publié en Angleterre en 1850 par M. Brodie, dans lequel cependant, ces faits sont énoncés très-clairement, ainsi que le lecteur pourra s'en assurer en consultant le tome LX des *Annales de chimie et de physique*, 3e série, page 227, 1860. — Au reste, en poursuivant ces études, M. Brodie (*Annales de chimie*, 4e série, t. II, p. 461) arrive à réfuter l'opinion de Schœnbein.

Schœnbein était d'une bonne santé, et rien ne faisait présager sa fin prochaine quand, en revenant de Wilbord, il s'arrêta près de Bade, à Sauersberg, chez un de ses amis ; là il eut un abcès au cou qui dégénéra bientôt en un anthrax dangereux, son retour chez lui devint impossible ; aucun soin ne put arrêter les progrès du mal et il mourut doucement dans la maison de son hôte, le 29 août 1868.

P. P. Dehérain.

V

BIBLIOGRAPHIE.

Dictionnaire de chimie pure et appliquée, par A. Wurtz, avec la collaboration de MM. Bouis, Caventou, de Clermont, Debray, etc. (Hachette, en publication). — *Manuel de chimie théorique et pratique*, par M. W. Odling, édition française de M. Wilm (première partie : *Métalloïdes*, Masson) — *Précis de chimie industrielle*, par M. A. Payen (5e édition, Hachette).

Personne ne sait plus la chimie, disait un jour un esprit chagrin, et il en donnait pour preuve l'impossibilité où se trouve aujourd'hui un auteur d'écrire un traité dans lequel soient résumés les immenses travaux qu'accumulent des recherches incessantes. M. Wurtz pense de même que la science est trop étendue pour qu'il en connaisse également bien toutes les parties, aussi n'a-t-il pas hésité à grouper autour de lui une vingtaine de collaborateurs qui lui permettront de mener à bonne fin le rude labeur qu'il s'est imposé. Le *Dictionnaire de chimie* comprend non-seulement, en effet, l'exposé de la science pure, mais aussi celle des nombreuses industries qui touchent à la chimie. Bien que l'ouvrage soit encore peu avancé, on peut juger, par ce qui est donné au public, l'importance de cette œuvre capitale. Le premier fascicule de cet ouvrage est consacré à une histoire des doctrines chimiques depuis Lavoisier jusqu'à nos jours, écrite par M. Wurtz. L'entreprise était hardie, il faut en convenir, porter un jugement sur les travaux des contemporains est toujours difficile, et surtout quand on a pris soi-même une part importante à l'établissement des doctrines qu'il s'agit d'exposer. M. Wurtz s'en est tiré à son honneur, bien qu'il se soit interdit dans cet exposé l'emploi des formules qui peignent habituellement avec

netteté les réactions qu'il faut décrire, il a su présenter avec clarté les parties de la science les plus délicates ; le style est ferme comme il convient, il s'élève quand le sujet le comporte ; il s'anime et touche à l'éloquence quand il faut soutenir les théories professées et les faire triompher des objections qu'elles soulèvent. Dans ce *discours préliminaire,* le savant doyen de la Faculté de médecine expose les idées de Lavoisier, puis la naissance de la théorie atomique avec Dalton et Gay-Lussac ; il évoque ensuite la grande figure de Berzelius, il le montre régnant d'abord en maître sur la chimie et imposant partout sa théorie électrique. Bientôt cependant une opposition s'élève, M. Dumas donne des exemples de la substitution du chlore à l'hydrogène, inexplicables dans la théorie électro-chimique ; M. Regnault, M. Malaguti le suivent dans cette voie, et bientôt la marée toujours montante des faits nouveaux, passe par-dessus la digue qu'avait voulu lui opposer le grand chimiste suédois, et malgré son talent, sa ténacité, les ressources variées de son génie, tout son édifice s'écroule et n'est plus qu'un souvenir. « Aujourd'hui, vingt ans après sa mort, devons-nous regretter, pour sa mémoire, les débats qui ont agité ses dernières années, et dont il n'est point sorti victorieux ? En aucune façon. Cette grande discussion a porté ses fruits, et l'opposition violente de Berzelius a été plus salutaire que n'eussent été le silence et le repos. Ainsi, après avoir tant honoré la science par ses découvertes, ce puissant contradicteur l'a encore servie par ses écarts mêmes. Telle est la vertu bienfaisante du travail. »

L'exposé des travaux de Laurent et de Gerhardt, le récit des luttes fécondes dans lesquelles ils ont été engagés conduisent ensuite M. Wurtz a apprécier le rôle capital qu'eurent sur les progrès de la science l'idée du type chimique, et celle des séries homologues.

M. Wurtz termine ce résumé remarquable par l'exposé des doctrines actuelles et de la théorie de l'atomicité, qu'il soutient avec talent et conviction. Il montre clairement comment cette idée s'est introduite dans la science avec l'étude faite par Berzelius des poids d'acide qui neutralisent des bases différentes. Tandis qu'une molécule d'acide sulfurique suffit pour fournir un sel avec la potasse ou la soude, l'alumine exige trois molécules semblables, l'une est *monacide* tandis que l'autre est *triacide.* A ce fait capital, dont l'importance a été longtemps méconnue, l'étude

des acides phosphoriques faite par M. Graham est venue donner un puissant appui ; l'illustre chimiste anglais a montré, il y a plus de trente ans, que s'il y a des acides dont la molécule est ainsi faite qu'elle se contente pour se saturer d'un seul équivalent d'une certaine base, d'autres acides en prennent deux, d'autres enfin en exigent trois. Ainsi pénétrait l'idée des combinaisons polyatomiques qui devait recevoir tant d'éclat du travail de M. Berthelot sur la glycérine, qu'il caractérisa comme un alcool triatomique, de la découverte enfin des alcools biatomiques, des glycols que réalisa M. Wurtz ; c'est encore à l'introduction de l'idée de la polyatomicité qu'est due la classification actuelle des sucres caractérisés par M. Berthelot comme alcools hexatomiques.

On a étendu, enfin, aux éléments eux-mêmes cette notion de *saturation* qu'on avait d'abord appliquée aux corps composés. Tandis que tel métal se combine à un seul atome de chlore et ne saurait en prendre davantage, tel autre métal se combine à deux atomes de chlore, tel autre à trois, tel autre à quatre. Les atomes ne sont pas équivalents et montrent entre eux des différences de même ordre que les acides monobasiques, bibasiques et tribasiques, tandis que les métaux alcalins, l'hydrogène, le chlore sont monoatomiques, l'oxygène, le soufre, les métaux alcalino-terreux sont biatomiques : il faut deux atomes des précédents pour les saturer; l'azote, le phosphore, le bismuth sont triatomiques; enfin, d'après M. Kékulé, le carbone est tétratomique. Nous avons déjà plusieurs fois entretenu le lecteur de cette théorie [1] et nous n'y revenons pas, elle est exposée brillamment dans le discours préliminaire de M. Wurtz, et elle y apparaît avec tant de preuves à l'appui, qu'elle trouvera bientôt des partisans plus nombreux et plus convaincus.

M. Wurtz, au reste, ne doute pas que l'heure de la théorie dualistique n'ait sonné ; il termine, en effet, son remarquable *exposé* par une belle page que nous placerons sous les yeux du lecteur, puisqu'elle résume les idées de la brillante école dont M. Wurtz est le chef.

« Nous voici arrivés au terme de cette longue exposition. Ayant pris les doctrines chimiques à leur naissance même, nous les avons suivies dans leurs évolutions successives. Nous avons vu des théories partielles surgir et s'élever l'une contre l'autre, puis,

[1] Voyez *Annuaire de* 1866, le *Grand prix biennal*, et 1868, le *Silicium*

après s'être combattues, se prêter un mutuel appui et se subordonner à une théorie plus générale. Nous avons vu le progrès des idées suivre de près la marche des découvertes et aboutir, à travers bien des variations, à une même idée fondamentale, celle qui consiste à chercher la cause première des phénomènes chimiques dans la diversité de la matière, chaque substance primordiale étant formée par des atomes doués d'une énergie propre et d'une aptitude particulière à la dépenser. Ces deux propriétés des atomes distinctes l'une de l'autre, rendent compte de tous les phénomènes chimiques, la première mesurant leur intensité, la seconde gouvernant leur mode. Ainsi affinité et atomicité, telles sont les deux manifestations de la force qui réside dans les atomes, et cette hypothèse des atomes forme aujourd'hui le fonds commun de toutes nos théories, la base assurée de notre système des connaissances chimiques. Elle prête une simplicité saisissante aux lois concernant la composition des corps, elle donne des aperçus sur leur structure intime, elle intervient dans l'interprétation de leurs propriétés, de leurs réactions, de leurs métamorphoses, elle fournira, sans doute, des points d'appui à la mécanique moléculaire. »

Personne jusqu'à présent n'avait donné de la marche de la science depuis cent ans un tableau aussi complet, et le *Discours préliminaire* de M. Wurtz restera certainement, pendant bien des années, un document capital à consulter pour ceux qui voudront savoir où en était la chimie en 1868.

Du Dictionnaire lui-même, un seul fascicule a paru au moment où nous écrivons (novembre 1868), mais nous croyons savoir que la publication va se continuer avec une grande régularité ; on remarquera, dans le premier fascicule, l'article de M. Hautefeuille, sur l'*acier* ; un remarquable travail historique sur l'*affinité*, de M. Salet; l'article *Alcool* est très-étendu, il est dû à M. Friedel, et comprend non-seulement l'étude théorique de ces composés si importants, mais aussi la description de tous les procédés à l'aide desquels ces alcools sont fabriqués. M. Leblanc s'est chargé d'écrire l'article *air*, étude pour laquelle ses travaux précédents l'avaient parfaitement préparé ; c'est là, au reste, le caractère particulier de cette publication, que chacune des questions est traitée par un chimiste qui en fait une étude particulière ; la bibliographie est très-soignée, et c'est là une qualité sur laquelle on ne saurait trop insister ; enfin l'exécution matérielle est satisfaisante,

bien que le caractère nécessité par l'abondance des matières soit un peu fin.

Le lecteur désireux d'étudier les nouvelles théories chimiques développées dans le Dictionnaire pourra, au reste, avoir recours à des ouvrages de moindre étendue. M. Wurtz a terminé ses leçons de chimie moderne dont nous avons déjà annoncé la publication il y a quelques années [1], et M. Wilm vient de donner le premier volume d'une édition française du *Manuel de chimie théorique et pratique* de M. Odling : on ne pourra pas accuser l'auteur anglais de s'être inspiré des ouvrages classiques français pour avoir composé son livre. Il est profondément original et ne procède que de lui-même ; après les généralités où sont exposées les théories de l'atomicité auxquelles M. Odling s'est rallié depuis longtemps et qu'il a singulièrement étendues et popularisées en imaginant de marquer d'accents plus ou moins nombreux l'atomicité des corps dont il écrit le symbole ($K'O''Az'''C^{iv}$) l'auteur décrit l'hydrogène, puis tous les éléments monoatomiques non métalliques, chlore, iode, brome et fluor ; ensuite il fait l'histoire des éléments biatomiques, oxygène, soufre, et il passe enfin à l'histoire des éléments triatomiques, azote, phosphore, arsenic, qui entraînent avec eux l'antimoine et le bismuth.

Rien n'est plus utile que les livres qui sortent ainsi des sentiers battus et nous présentent la science sous un jour nouveau ; ils nous habituent à voir tous les aspects d'une question, et empêchent les personnes qui les comparent aux livres classiques d'avoir en la science officielle une foi aveugle ; ils hâtent le jour, vraisemblablement peu éloigné, où les nouvelles idées seront admises dans l'enseignement secondaire.

Le traité de chimie industrielle de M. A. Payen est connu depuis longtemps du public et apprécié par lui, puisque l'ouvrage en est à sa cinquième édition. Nous nous contenterons donc d'indiquer que plusieurs chapitres nouveaux ont été ajoutés, et que quelques autres ont reçu de très-grands développements, l'industrie sucrière dont les progrès sont journaliers, se trouve notamment exposée dans le *Précis de chimie industrielle* avec tous les développements désirables.

P. P. D.

[1] *Leçons élémentaires de chimie moderne*, par M. Wurtz. 1 volume avec figures. Masson.

PHYSIQUE DU GLOBE

I

LE FŒHN.

I

Description générale du fœhn. — Le fœhn de septembre 1866. — Ses rapports avec le sirocco. — État météorologique de la France et de l'Allemagne. — Atlas des orages. — Observations faites en Algérie. — Fonte des neiges.

On donne en Suisse le nom de *fœhn* à un vent chaud et généralement sec, soufflant de la partie du sud (sud-ouest à sud-est), qui a la propriété de faire disparaître rapidement une très-grande quantité de neige et de glace sur les Alpes, soit par l'évaporation, soit par la fusion. Si, pendant une ascension d'hiver vous avez été étonné de voir les énormes couches de neige que les tempêtes ont amassées dans certaines parties de la montagne, il suffit souvent de quelques jours d'intervalle pour que vous trouviez ces endroits entièrement dégagés et transformés en plantureux pâturages. Comment, demandez-vous, cet incroyable changement s'est-il opéré? C'est au fœhn qu'il est dû, répond le berger en vous apprenant le dicton populaire : « Le bon Dieu et le soleil doré ne peuvent rien contre la neige si le fœhn ne leur vient en aide [1]. »

« Dès le mois de mars, dit le naturaliste Ramond [2], un vent chaud appelé *fœhn*, qui vient de la région méridionale, fait irruption dans les vallées des Alpes; il émaille les prés de violettes, et donne à celui qui le respire le sentiment du printemps. Alors

[1] Der lieb Gott und di guldi Sunn vermöged nüd, wenn der Fœhn nüd chunt.

[2] Notes de la traduction du *Voyage de Coxe*.

les avalanches se succèdent sans interruption, les torrents s'élancent de tous les glaciers, et les rivières subitement enflées submergent leurs rivages. Ce vent trouve devant lui une masse d'air glacé; il le combat; il l'ébranle, mais ce n'est qu'au bout de deux jours qu'il parvient à prendre sa place, et les habitants des plaines septentrionales de la Suisse sentent pendant deux jours un vent froid qui leur prédit un vent brûlant qui soufflera le troisième jour. »

Ce vent n'a pas toujours le caractère d'une brise douce et modérée; quelquefois il devient un fléau dévastateur. Un officier suisse, M. W. Huber, le décrit ainsi[1] : ... Des nuages échevelés, formés par la condensation des vapeurs aux approches des glaciers, volent au-dessus des hautes montagnes sans en effleurer les cimes. Bientôt la neige, balayée des sommets, s'étend vers le nord en longues traînées blanches, qui se détachent sur un ciel plus bleu que de coutume. Chaque crête semble ornée d'une aigrette de dentelle légère. Quelques instants encore, et les couches inférieures de l'atmosphère, entraînées par le courant, font gémir les forêts et soulèvent en épais nuages la poussière des routes. Les lacs prennent une teinte verte et s'agitent en fureur. *Le fœhn est descendu*, comme on le dit vulgairement. Il mugit en notes lugubres dans les maisons, dont les habitants éteignent tous les feux : il soulève les tuiles et les ardoises, abat les cheminées et déracine les arbres séculaires... »

Remarquons une circonstance importante mentionnée dans ce passage, la direction inclinée de haut en bas des rafales du fœhn. Pendant qu'il règne, on constate d'une manière constante une baisse très-notable du baromètre. L'électricité de l'air change en général de signe. De positive qu'elle est d'ordinaire avec les vents du nord, elle devient négative lorsque ceux du sud commencent à souffler. On ressent alors aussi fréquemment une grande prostration des forces organiques.

Il existe plusieurs observations concernant des tempêtes de fœhn qui sévissaient en Suisse, pendant qu'au sud des Alpes régnait le calme ou des vents faibles et variables. Un très-bon exemple à citer sous ce rapport est le fœhn du 23 septembre 1866, parfaitement bien décrit par M. Dufour, professeur de physique à

[1] *Les glaciers*, Paris, 1867.

l'université de Lausanne. Nous souhaitons vivement voir d'autres savants imiter son travail [1] qui réunit, en les accompagnant d'une lumineuse discussion, les données météorologiques simultanées de toute l'Europe et de l'Afrique septentrionale. Ce travail établit que pendant la baisse barométrique qui se manifestait au nord des Alpes, il se produisait au contraire une légère hausse en Italie et même dans le sud-est de l'Europe jusqu'en Grèce. A la température élevée acquise par l'air partout où soufflait le fœhn, correspondait, sur le versant méridional, un refroidissement de l'atmosphère. L'origine de ce fœhn n'a donc pas pu être cherchée en Italie, du moins au niveau du sol.

La même conclusion se tire des faits relevés pendant le fœhn du 19 et du 20 octobre 1864. Les stations au nord des Alpes accusaient les caractères ordinaires de sécheresse de l'air, d'élévation de température et de baisse barométrique. A Æststetten, le baromètre baissa de 10 millimètres du 18 au 20, tandis que la température s'élevait de 8°; le vent était du sud, fort et très-fort, l'humidité de $0^{mm},29$ à $0^{mm},37$. Pendant ce temps, les stations de Lugano, au sud des Alpes, donnaient vent faible ou nul, air très-humide ou pluie, température à peu près constante du 17 au 23.

L'idée qu'on se fait assez généralement du sirocco italien, il faut bien le remarquer, est inexacte; c'est le plus souvent un vent humide et non un vent sec. Le physicien Toaldo constatait déjà, pour la contrée de Padoue, que le sirocco du sud et du sud-est apporte l'humidité et la pluie. Voici la description que M. Lorenz [2] donne de ce vent observé à Quarnero, en Istrie : « Il ne commence jamais brusquement comme la bora (vent de nord et nord-est), mais il arrive peu à peu jusqu'à l'état tempétueux pour aboutir de nouveau lentement au calme. On distingue le sirocco frais (*sirocco fresco*), et le *sirocco marzo*. Le premier s'accompagne de nuages et de beaucoup de pluie : air très-humide, température élevée, baromètre bas. Ce vent dure souvent des semaines, surtout en novembre et décembre. Quand le courant proprement dit du sirocco n'arrive pas jusqu'à nous, nous continuons à avoir la même météorologie, mais avec un air calme;

[1] Lausanne, 1868.
[2] *Physikalische Verhältnisse*, 1863.

c'est alors le sirocco marzo : température encore plus élevée, pluie très-abondante, etc. Pendant tous ces siroccos, l'organisme est abattu, l'évaporation nulle. Tout le monde aspire à un changement de température et désire la bora. » Ce sirocco aurait pour origine, selon M. Dove[1], non le vent du sud de l'Afrique, mais le courant équatorial qui, d'après la théorie générale des vents, revient par-dessus les alizés du nord-est rencontrer la surface terrestre dans la région extratropicale. Le vent chaud et sec, que le navigateur rencontre fréquemment en longeant la côte septentrionale d'Afrique, ne se charge pas d'humidité en passant sur la Méditerranée; M. Dove rappelle à ce sujet les observations faites à Madère sur le vent d'Afrique qui y arrive dans un état de grande sécheresse malgré son long trajet à la surface de la mer.

Pendant que, selon M. Dufour, il y avait absence de dépression barométrique en Italie, cette dépression était très-grande, de 18 à 21 millimètres sur les côtes occidentales de la France, et se réduisait à 10-17 millimètres dans l'Allemagne centrale, de 4 à 10 millimètres sur le plateau suisse et dans les vallées alpines. Les documents relatifs aux mouvements de l'atmosphère font voir que les vents de sud-ouest se manifestèrent le 20 avec assez de force au nord-ouest de l'Europe, en Angleterre et en Suède; le lendemain, 21, ils soufflent sur la Manche et s'étendent jusqu'à l'Europe centrale. Dans cette journée, les mouvements de l'air commencent sur quelques points de la Suisse, mais c'est le 22 seulement que le fœhn proprement dit s'y généralise, pendant que toute l'Europe occidentale et centrale ressent le vent de sud-sud-ouest, et que plusieurs stations du réseau autrichien signalent du sud-est. Le fœhn éclate avec une très-grande violence dans la nuit du 22 au 23; le 23 la tempête est dans toute sa force et se fait sentir dans des lieux encore calmes la veille. Alors des vents du sud, sud-sud-ouest, puis de sud-est, forts et même très-forts, soufflent sur les côtes d'Espagne, sur les côtes méridionales de France, dans les vallées du Rhône et la France centrale, dans les stations du Wurtemberg et du Tyrol.

L'*Atlas des orages* de l'Observatoire de Paris contient les renseignements suivants sur l'état météorologique de la France pendant ces quelques jours. « La période du 20 au 25 septembre,

[1] *Ueber Eiszeit, Fœhn und Scirocco.* Berlin, 1867.

si désastreuse à cause des pluies torrentielles qui ont causé des inondations dans une grande partie de la France, est remarquable aussi par les orages qui ont accompagné ces pluies en un grand nombre de lieux. Le 22, 16 départements étaient atteints; le 23, on en comptait 19, et 18 seulement le 24 septembre. Le 25, ce nombre était réduit à 5, et le 24 il n'y a plus une seule manifestation électrique. »

La tempête de fœhn a cessé dans la journée du 24 sur beaucoup de points. C'est dans la partie orientale de la Suisse que ce vent s'est maintenu le plus longtemps, et il a soufflé encore avec violence dans les Grisons pendant la journée du 25.

L'Algérie, et très-probablement la partie occidentale de la Méditerranée, ont été comprises dans la grande agitation atmosphérique. Suivant les documents fournis par M. Bulard, directeur de l'observatoire d'Alger, le vent du sud (sirocco) a commencé à se faire sentir dès le 21 dans cette ville. Le 22, on le signale violent à Dellys et à Bône; les nuages élevés allaient partout avec le sud-ouest. Cette situation continue sur la côte le 23 et dans l'intérieur; à Boghar et à Biskra, règne aussi un coup de vent du sirocco.

A l'égard de la température, M. Dufour tire les conclusions suivantes des observations recueillies dans les diverses stations suisses : 1° avant que le mouvement de l'air soit signalé comme notable, la température s'est déjà sensiblement élevée. Il semble que le fœhn, comme tempête, soit précédé d'une lente arrivée de masses d'air plus chaudes. 2° Cette augmentation prodromique de la température est surtout sensible quelques heures avant que le fœhn soit signalé. 3° Lors de l'arrivée du vent, la température n'atteint pas, dès les premières heures, le degré auquel elle arrive plus tard. Dans la plupart des stations, il y a augmentation jusqu'au second, quelquefois jusqu'au troisième jour, principalement le matin, le soir et pendant la nuit; ce fait s'est surtout prononcé là où le fœhn a été violent. L'élévation de la température a été en général de 6 à 8°; dans beaucoup de lieux, les journées de fœhn pouvaient être comparées aux plus chaudes journées de l'été, et dans cinq stations celle du 24 a été la plus chaude de l'année 1866.

Bien que les stations suisses fussent situées à une altitude notablement supérieure à celles du sud des Alpes ainsi qu'à celles de

l'Europe centrale et occidentale, elles présentaient une température plus élevée pendant la période du fœhn.

D'après l'ensemble des observations relatives à l'humidité de l'air, le fœhn du 23 septembre doit être rangé pour la plupart des localités au nord des Alpes dans la catégorie des vents secs. Au moment où il régnait, et même pendant les jours précédents, l'atmosphère n'était nulle part aussi sèche dans l'Europe méridionale. M. Dufour a constaté également pour un grand nombre de stations que, par les vents d'ouest ou de sud-ouest ordinaires et même ceux du nord ou du nord-est très-violents, la sécheresse était beaucoup moindre que celle de ce fœhn.

Ce qui est très-remarquable, c'est que pendant qu'un vent si sec et si chaud régnait dans les stations suisses, la pluie tombait à torrents sur toute la crête des Alpes, du mont Blanc aux Grisons. Cependant cette simultanéité n'existe qu'à partir du 23; la veille, jour où le fœhn soufflait déjà avec violence dès midi, la pluie n'avait commencé nulle part, et on ne peut par conséquent considérer dans ce cas l'élévation de la température du fœhn comme une conséquence de la condensation de la vapeur d'eau en pluie, condensation toujours suive d'un dégagement de calorique latent.

En ce qui concerne la fonte de la glace et de la neige, provoquée par le fœhn, les renseignements obtenus par M. Dufour n'ont pas assez de précision. « De rugueux, lui écrit-on de la vallée de Bagnes, les glaciers de Getroz sont devenus polis et d'un bleu transparent. Les détonations se faisaient entendre à de courts intervalles. » C'est le signe d'une assez active fusion, mais elle n'a pas eu pour résultat un grossissement bien sensible des torrents qui descendent des Alpes bernoises. Il est vrai que le vent produit l'ablation des glaciers non-seulement par la fusion, mais aussi par l'évaporation des couches superficielles, ce qui n'a aucune influence sur les torrents. La moindre extension des champs de neige limite alors aussi le rôle actif du fœhn, beaucoup plus grand au printemps.

II

Origine du fœhn. — Le Sahara. — Périodes glaciaires. — Influence des déserts. — Courant équatorial. — Les cyclones. — Hypothèse relative au fœhn de septembre 1866. — Causes de l'échauffement de l'air.

La question de l'origine du fœhn a été vivement débattue depuis quelque temps, et diverses brochures, dont nous mentionnerons les principales, ont été publiées à ce sujet. La direction du sud au nord du courant, sa sécheresse et sa température élevée portaient, par un simple motif d'analogie, à lui assigner pour berceau le désert africain : le sirocco qui arrive jusqu'aux Alpes et qu'on assimilait au fœhn était supposé identique avec le sirocco dont on connaît l'apparition fréquente sur la côte septentrionale d'Afrique. Un éminent géologue suisse, M. Escher de la Linth, fut ensuite conduit à attribuer au fœhn un rôle géologique très-important, en partant de la disparition rapide des neiges et des glaces pendant qu'il règne. « Les années, dit-il, dans lesquelles le fœhn souffle moins souvent que dans d'autres sont évidemment plus favorables à l'extension des réservoirs de la neige et à l'allongement des glaciers; on trouve un exemple frappant d'un tel accroissement extraordinaire dans la période qui s'étend de 1812 à 1820. Si le fœhn ne se manifestait plus à une certaine époque, il est probable que nous aurions un climat semblable à celui des parties les plus méridionales de l'Amérique du Sud, où, sous une latitude qui correspond à celle de Lugano, dans le Tessin, les glaciers s'étendent jusqu'au rivage de la mer. On ne peut donc guère mettre en doute qu'un refroidissement de ce genre survenant, les glaciers recouvriraient de nouveau graduellement tout ce grand domaine qu'ils paraissent avoir occupé dans le passé. Or le fœhn disparaîtrait si sa terre d'origine, le brûlant Sahara, se changeait de nouveau en mer. De la surface des eaux ne s'élèverait pas, comme actuellement, un courant chaud ascendant, qui, d'après les lois physiques, se dirige vers le nord et apparaît de temps en temps comme fœhn dans notre pays. Différentes circonstances montrent en fait, comme le sagace C. Ritter l'a in-

diqué depuis longtemps[1], que le Sahara a été une mer à une époque relativement récente; dans ce cas, le fœhn ne pouvait pas alors souffler en Suisse, et on ne doit pas considérer comme invraisemblable que c'est par suite du soulèvement d'une région de l'Afrique que le climat de l'époque glaciaire a été transformé en celui que nous possédons aujourd'hui. »

On sait que les faits qui ont servi de preuves relativement à l'ancienne extension des glaciers dans la période appelée glaciaire par les géologues, sont la position des moraines ou amas de roches transportées par ces masses glacées mais mobiles, ainsi que les stries qu'elles ont gravées sur le sol dans tout leur parcours. Depuis les premières découvertes dues à M. de Charpentier, un grand nombre de recherches entreprises dans les diverses parties du globe ont permis de reconstruire par la pensée les glaciers gigantesques qui couvraient autrefois non-seulement les Alpes, mais encore les Pyrénées, les Vosges, les montagnes de l'Angleterre, le Liban, le Caucase et l'Himalaya, une grande partie de l'Amérique du Nord et presque toute la chaîne des Cordillères. L'étude des Alpes en particulier a montré que leurs glaciers remplissaient les diverses vallées et débouchaient dans la plaine jusqu'à des distances très-considérables, dont on aura une idée en se représentant ceux du Rhône et de l'Isère dépassant le Jura et s'étendant jusqu'à Lyon, celui du Rhin atteignant les Vosges.

D'un autre côté, M. le professeur Heer, de Zurich, a établi qu'il est très-probable que ce phénomène de l'extension extraordinaire des glaciers a eu lieu à deux époques différentes, séparées par une longue suite de siècles pendant lesquels la Suisse possédait un climat peu différent du climat actuel et était déjà habitée par l'homme. Or l'existence de deux périodes glaciaires exigerait, dans l'hypothèse que nous venons de reproduire, l'élévation et l'abaissement à deux reprises de la région saharienne au-dessus et au-dessous du niveau de la mer. Mais M. E. Desor, qui a récemment visité cette région avec M. Escher de la Linth, pense[2] qu'il est possible de démontrer cette double révolution géologique

[1] *Géographie*, tome I, 1817.

[2] Voyez sa relation de voyage: *Aus Sahara und Atlas*. Wiesbaden, 1865.

en s'appuyant sur la position occupée par les diverses couches de sable qu'on trouve dans le sol entre des couches de gypse et de sel, et sur la découverte de certaines coquilles au fond d'un puits artésien de 98 mètres creusé dans l'oasis de Om-Thiour. A ce sujet le lecteur pourra consulter notre article sur le Sahara dans l'*Annuaire de* 1866.

M. Escher de la Linth, dans l'énoncé de son hypothèse, considère le fœhn qui atteint les vallées alpines comme le courant descendant produit par le sol échauffé du désert et prenant le direction vers le nord dans les hautes régions de l'atmosphère, jusqu'à ce qu'ensuite il descende sur la Suisse. Mais M. Dove lui fait cette objection, dont nous reconnaissons la justesse, que le courant qui du Sahara se dirige vers le nord, par conséquent vers des parallèles de plus en plus petits, doit dévier vers l'est et aboutir, non aux Alpes, mais au sud-est de l'Europe et à l'Asie. Ce transport direct écarté, il reste certaines voies indirectes suivant lesquelles des masses considérables d'air chaud et sec du désert peuvent parvenir jusque dans l'Europe centrale. Voici, en résumé, comment le même savant les décrit.

Il commence par rappeler qu'une zone presque ininterrompue est formée par les déserts, depuis l'extrémité occidentale du Sahara jusqu'à l'extrémité orientale du désert de Gobi, à travers le milieu de l'Afrique, l'Arabie, la Perse, le Candahar et la Mongolie. Il établit ensuite que des courants de surface perpendiculaires à la direction de cette zone sont provoqués par le courant ascendant que le soleil y engendre. S'il y avait là une accumulation d'air, il en résulterait une hausse du baromètre, mais c'est le contraire qu'on observe. Dans les hautes régions l'air doit, par conséquent, prendre une direction latérale, et, si l'on considère particulièrement ce qui doit se passer à la côte ouest de l'Afrique, on est conduit à admettre un prolongement assez considérable de la couche supérieure d'air échauffé au-dessus de l'océan Atlantique.

D'après la théorie générale des vents, le courant qui, à partir de l'équateur, passe par-dessus les vents alizés en se dirigeant du sud-ouest au nord-est et descend jusqu'à la surface terrestre dans la zone extratropicale, est pour l'Europe un vent très-chargé d'humidité, parce qu'il prend son origine dans la région torride de l'Atlantique. C'est ce courant qui nous apporte nos pluies et la

plupart de nos tempêtes ou orages. M. Dove pense que le plus souvent il ne rencontre pas la couche d'air précédemment décrite, mais que cela arrive quelquefois. Dans ce cas, il doit en entraîner une partie qui, au moment où le sol de l'Europe est atteint, peut se trouver en avant de lui ou du côté de l'est. Deux sortes de tempêtes de fœhn seraient expliquées de cette manière : celles qui commencent par des vents secs et sont ensuite suivies de fortes pluies, celles qui, donnant des vents secs à la Suisse, éclatent en France et en Angleterre avec des pluies et des orages.

M. Dove rappelle aussi l'explication des cyclones de l'Atlantique qu'il a donnée dans son ouvrage sur la *Loi des tempêtes*[1]. Quand le même courant supérieur, dirigé de la région des déserts vers l'Atlantique, descend vers la surface terrestre et pénètre dans la couche des vents alizés, il y engendre les grands tourbillons auxquels on voit prendre, selon des lois mécaniques connues, une route parabolique qui s'étend jusqu'à la mer des Antilles et revient ensuite vers l'Europe. La tempête atteint ainsi quelquefois les Alpes; il est à remarquer qu'elle a presque toujours trouvé sur l'Océan une source nouvelle de chaleur qui s'ajoute à celle qui lui vient du désert, la route de retour suivie étant le plus souvent identique avec le cours du Gulfstream, le puissant courant chaud venant du golfe du Mexique.

M. Dufour fait suivre le travail analytique cité dans le chapitre précédent des considérations suivantes : « Si l'on tient compte de la température et de la sécheresse signalées les 21-23 septembre, si l'on remarque que le vent a été très-violent dans les stations intérieures, voisines du désert, on pourra admettre, comme fort probable, que l'agitation atmosphérique s'est étendue assez avant dans le Sahara, et que c'est l'air du Sahara qui a été amené au nord du continent africain. Si l'on supposait que cet air, entraîné par la tempête, a continué comme courant supérieur son mouvement vers des latitudes septentrionales, on ferait une hypothèse qui ne serait assurément pas plus hasardée que beaucoup d'autres qui ont cours en météorologie... Dans les conditions habituelles, l'air chaud du Sahara, même de sa portion occidentale, doit se jeter sur le

[1] Traduit en français par M. A. Le Gras, capitaine de frégate, dans les *Annales hydrographiques* de 1864.

sud-est de l'Europe et l'Asie centrale; mais que cette déviation doive se produire *toujours*, c'est ce qui n'est pas certain. Sous l'influence d'une tempête de l'Atlantique et d'une diminution de pression au nord-ouest de l'Europe, le courant africain pourra fort bien, ce me semble, suivre un cours plus occidental et aboutir à l'Europe centrale. En admettant que ce courant devienne le fœhn des vallées alpines, on comprendrait pourquoi le fœhn se rattache à une tempête de l'ouest et pourquoi il en est une conséquence. » Nous croyons que cette explication peut très-bien s'ajouter à celles que M. Dove a données relativement à la manière dont l'air du désert arrive comme fœhn en Suisse.

Il reste néanmoins encore à examiner si les caractères de sécheresse et de température élevée du fœhn indiquent nécessairement son origine saharienne, et si des tempêtes très-analogues ne peuvent pas être la conséquence du courant équatorial seul, se précipitant sur la chaîne des Alpes. M. Dove soutient cette dernière opinion, et elle est regardée comme probable par M. Dufour. Nous citerons d'abord en sa faveur le grand nombre de coups de vent de *mistral* (nord-ouest très-sec) de la Provence qui ont pour origine les vents d'ouest de l'Atlantique. Ceux-ci sont éminemment humides, et donnent des pluies très-abondantes sur tout leur parcours, depuis les côtes occidentales de France jusqu'aux Cévennes où, après s'être déchargés tout à fait, ils continuent leur route en état de sécheresse. Ce phénomène doit aussi se produire pour la Suisse. Dans une tempête de fœhn (6 janvier 1863) citée comme exemple par M. Dove, il y eut une chute de neige extrêmement abondante sur le versant méridional des Alpes. Le vent chaud avait précédé les grandes averses de pluie dans celle de septembre 1866, mais dans beaucoup de cas les deux phénomènes sont simultanés, et on peut voir alors dans l'échauffement de l'air l'effet du dégagement du calorique latent pendant ces condensations des vapeurs en pluie ou en neige.

Un savant allemand, M. Hann[1], a cherché une autre cause de la chaleur du fœhn dans la compression de l'air, en s'appuyant sur cette observation générale que le vent se dirige de haut en bas dans les vallées alpines. Si l'on suppose une portion de gaz descendant d'une hauteur de 3,000 mètres, région où la pression

[1] *Zeitschrift der œstreichischen Gesellschaft für Meteorologie*, 1867.

est de 530 millimètres, la température de 3°, pour arriver dans la couche située à 500 mètres d'altitude où la pression est d'environ 714 millimètres, les formules de la théorie mécanique de la chaleur donneraient 27°,6 pour la température résultant de la compression subie, ce qui serait assurément suffisant pour rendre compte de la chaleur du fœhn, même dans les stations les plus chaudes. M. Dufour, qui a fait ce calcul, y oppose lui-même qu'on devrait trouver des vents caractérisés par une grande chaleur au pied de tous les hauts massifs où ces vents parviennent par une descente rapide, et conclut à une influence de la compression moindre, quoique bien réelle. Les deux causes citées doivent sans doute être réunies pour expliquer l'effet produit.

III

Influence du fœhn sur les glaciers. — Autres explications des périodes glaciaires. — Le Gulfstream. — Effet du soulèvement des montagnes. — Ancienne élévation des chaînes. — Variations séculaires des saisons.

C'est seulement par la détermination de la proportion dans laquelle l'air du désert intervient pendant les coups de vent du sud, compris sous le nom de fœhn, qu'on pourrait être fixé sur la valeur véritable de l'hypothèse de M. Escher de la Linth, et il faudrait pour cela avoir une série de monographies, exécutées avec le grand soin mis par M. Dufour à celle du fœhn du 23 septembre 1866. On devrait surtout y ajouter les observations les plus précises possibles sur la fonte de la neige et de la glace provoquée par chaque catégorie de fœhn.

Quelle est, d'un autre côté, la modification du climat nécessaire pour arriver du climat actuel à celui de la période glaciaire? Il faut se garder de croire que plus le climat sera rigoureux plus les glaciers acquièrent de puissance et de développement. Par un hiver long et humide, qu'il y ait ou non de grands froids, les réservoirs se remplissent toujours de neige. La température de l'été importe davantage; pour qu'il y ait accroissement des glaciers, il faut que cette saison ne soit pas trop chaude. Toutefois, c'est seulement quand la température dépasse le zéro de quelques degrés que la neige se transforme en névé et en glace. M. Charles

Martins[1] a fait un calcul qu'il expose ainsi : « Supposons que l'hiver de la plaine suisse reste tel qu'il est, mais que l'été soit moins chaud, de façon que la température moyenne de Genève soit de 5° au lieu de 9°,16 comme maintenant. La limite des neiges éternelles sera également abaissée et ne dépassera pas 1,950 mètres au-dessus de la mer. Les glaciers de Chamounix descendront au-dessous de cette nouvelle limite d'une quantité au moins égale à celle qui existe entre la limite actuelle (2,700 mètres) et leur extrémité inférieure. Or, aujourd'hui, le pied de ces glaciers est à 1,150 mètres d'altitude : avec un climat de 4 degrés plus froid, il sera à 750 mètres plus bas, c'est-à-dire à 400 mètres. et par conséquent au niveau de la plaine suisse. Ajoutons que ces immenses glaciers, ayant pour bassins d'alimentation tous les cirques, toutes les vallées, toutes les gorges situées au-dessus de 750 mètres, descendront plus bas, toutes choses égales d'ailleurs, que les glaciers actuels, dont les bassins d'alimentation sont tous à des hauteurs supérieures à 1,150 mètres. » Que la température moyenne s'abaisse donc dans cette mesure, que la Suisse arrive à avoir un climat semblable à celui de Stockholm, et les glaciers de l'Arve et du Rhône s'avanceraient de nouveau jusqu'à Genève. Un autre calcul a montré que si la période de 1812 à 1820, où les étés étaient extraordinairement pluvieux, avait duré 774 ans, le glacier du Rhône se serait avancé du fond du Valais jusqu'à Soleure.

C'est donc à de semblables effets que les fœhns provenant de l'air du Sahara devraient donner lieu, et les conditions de leur production seront les termes de comparaison auxquels on devra se rapporter, quand les recherches que nous avons indiquées auront fourni une base plus sûre pour la vérification de l'hypothèse dont il s'agit. Nous ferons remarquer du reste que dans cette hypothèse, le trajet de l'air chaud supposé direct, par un courant supérieur dirigé vers le nord, s'est transformé en un trajet indirect, et que de cette manière les probabilités du phénomène de transport doivent diminuer. Par là nous sommes portés à réduire l'importance de son rôle géologique, et, si on peut le considérer comme un fait qui contribue au maintien des glaciers dans leurs

[1] *Glaciers actuels et période glaciaire.* Revue des Deux Mondes, livraisons des 15 janvier, 1er février et 1er mars 1867.

dimensions moyennes actuelles, il ne fournit cependant pas une solution suffisante du problème de la période glaciaire.

Cette explication se maintiendra au même rang que différentes autres solutions qui ont été proposées, et sur lesquelles nous allons jeter un coup d'œil rapide, jusqu'à ce que le progrès des sciences en suscite une vraiment complète. Celle qu'on trouve dans la considération du fait admis par des géologues, que le Gulfstream n'a pas toujours existé et n'a pas toujours exercé sa puissante influence sur le climat de l'Europe occidentale, paraît plus ou moins bien fondée suivant qu'on assigne pour cause à sa non-existence l'interruption sur une grande étendue de l'isthme de Panama, ou la présence dans l'Atlantique d'un vaste continent unissant l'Europe à l'Amérique et dont les Açores, Madère et les Canaries sont les restes[1].

Les années remarquablement froides de 1816 et 1817 ont été la conséquence d'une débâcle de glace qui eut lieu dans les mers polaires et sur la côte du Groënland. A ce sujet, nous citerons une cause du grand refroidissement du climat de l'Europe qui paraît très-probable et dont nous trouvons la mention dans le *Précis de météorologie*[2] de M. Schmid, professeur à l'université d'Iéna. Elle consiste dans l'arrivée de glaces de la mer polaire asiatique jusqu'aux rivages de l'Allemagne, à l'époque antérieure à l'exondation de la Finlande. On peut supposer qu'elles y étaient charriées par un courant.

Après avoir passé en revue dans son bel ouvrage sur le mont Blanc[3] les principales explications de la période glaciaire, M. Al-

[1] Des modifications dans le climat européen pourraient avoir été corrélatives à des variations de la vitesse de ce courant. Par suite d'une accélération notable il doit arriver plus chaud sur nos côtes et s'y étendre davantage. Nous verrions probablement se produire une modification de ce genre si l'observation suivante se confirmait : « Ce n'est pas sans quelque appréhension que les savants apprendront le fait du doublement de la vitesse du Gulfstream. Cette accélération doit avoir un rapport évident avec les derniers tremblements de terre des îles du golfe du Mexique. Une première conséquence est une augmentation des difficultés de la navigation dans le détroit des Florides, mais elle est peu importante en comparaison de celles qui pourraient affecter les principaux intérêts du monde civilisé. (*New-York Commercial Adviser*, 11 janvier 1868.)

[2] Leipzig, 1862.

[3] *Recherches géologiques dans les parties de la Savoie, du Piémont et de la Suisse, voisines du mont Blanc.* 3 vol in-8°, avec un atlas de

phonse Favre donne de remarquables développements à celle qui appartient à M. de la Rive. L'éminent physicien s'est fondé sur ce que les terrains qui sortirent de l'eau, à l'époque du dernier soulèvement, étaient imprégnés d'une humidité considérable et sur ce que l'humidité est accompagnée d'un abaissement de température, surtout dans les pays de montagnes. Les terrains pénétrés d'eau devaient produire une évaporation énorme, et le développement des glaciers de Chamounix dans les années humides est une preuve qu'on peut citer à l'appui de cette explication. La végétation s'établissant sur la terre avec une grande puissance aurait absorbé en partie l'humidité et fait rentrer peu à peu les glaciers dans les limites que nous leur connaissons.

M. Favre ne considère pas ces causes comme suffisantes à elles seules; il y ajoute l'élévation des Alpes, qui étaient plus étendues au commencement de l'époque quaternaire. Son livre renferme une démonstration de ce fait, que toutes les montagnes du globe ont été une fois plus hautes que de nos jours. « Les Alpes, dit-il, étaient plus élevées de tous les débris qui en ont été détachés, depuis le moment où en se soulevant elles ont redressé la mo-

32 planches, par M. Alphonse Favre, Paris 1867. Librairie Victor Masson et fils. — Cette étude, très-complète, a donné au savant auteur l'occasion de traiter toutes les questions importantes, agitées aujourd'hui en géologie. L'illustre de Saussure avait tracé les traits principaux de l'architecture du grand massif; il y avait à en donner le plan détaillé avec l'analyse de tous les étages et de tous les compartiments. C'est à cette œuvre que M. Favre a consacré près de trente années et de nombreuses courses ou ascensions, souvent périlleuses. Aucune idée préconçue et systématique n'a présidé à son travail, dans lequel pourtant ne manquent pas les découvertes et les vues ingénieuses, qui ont trouvé pour la plupart un très-favorable accueil. L'examen des traces laissées par les anciens glaciers est surtout fait avec un grand soin. Nous citerons aussi la réunion des faits propres à élucider la question si controversée de la *structure en éventail*, qui nulle part n'est plus distincte qu'au mont Blanc. D'après cette théorie, ce géant serait le résultat d'un pli de l'écorce terrestre, dont les couches, rompues au sommet par l'excès de courbure, auraient laissé percer le granit; une pression latérale aurait fait prendre à ces couches la forme de gerbe. Dans un chapitre très-curieux, M. Favre, admettant la justesse des objections récemment faites contre l'origine ignée du granit, s'efforce d'expliquer sa formation par l'action de la vapeur d'eau sur les laves souterraines. Cette idée, en partie renouvelée de Werner, simplifierait beaucoup la question de la genèse des montagnes. L'atlas joint au livre renferme des coupes, des vues et des dessins de fossiles, exécutés avec le plus grand soin.

lasse. Elles se sont abaissées de la masse immense de matériaux qui s'est répandue dans les plaines voisines, sous forme de blocs erratiques, de cailloux, de sable, de glaise, etc.; de tout ce qui a été entraîné dans les plaines éloignées du Rhin, du nord de l'Italie et du sud de la France jusque dans les environs de Montpellier, et encore de tout ce qui a été enfoui dans la mer. Les sommités des Alpes dépassaient donc la limite des neiges éternelles plus qu'elles ne le font maintenant, et l'étendue horizontale de ces montagnes au-dessus de cette ligne était également plus grande, ce qui était une cause puissante de l'agrandissement des glaciers. La marche de ceux-ci était facilitée par les pentes plus rapides des montagnes et par l'étroitesse des vallées. Notre climat était par conséquent plus froid. »

Une grande difficulté peut être opposée aux théories qui précèdent cette dernière explication, et auxquelles convient le nom de *locales*. Elles ne s'appliquent pas aux anciens glaciers des Carpathes, du Caucase et du Liban, des chaînes de l'Amérique du Nord et du Sud, de la Nouvelle-Zélande. Dans l'hypothèse exposée par M. Favre, nous voyons une cause plus générale, l'altitude plus grande de toutes les montagnes à leur apparition; mais les chaînes ont été soulevées à des époques bien éloignées les unes des autres, et pour chaque période glaciaire ne faudrait-il pas un nouveau soulèvement? L'éminent physicien et glacialiste John Tyndall, en posant les conditions relatives à l'extension des glaciers, demande[1] des « condenseurs perfectionnés, » et les montagnes plus hautes les lui donnent; mais il insiste principalement sur la nécessité d'une plus forte chaleur pour chauffer « la chaudière, » c'est-à-dire le bassin des mers tropicales, d'où s'élèvent la plus grande partie des vapeurs qui se précipitent sous forme de neige dans les zones tempérées et glaciales.

Comme nous venons de le rappeler, il faut que la cause générale proposée implique encore l'existence de deux périodes glaciaires dans le cas où l'on adopterait l'opinion de M. Heer. On ne peut s'arrêter à des hypothèses comme celle des variations de la chaleur du soleil, du passage de notre globe dans des espaces célestes plus ou moins denses et capables d'arrêter les rayons

[1] *Heat considered as a mode of motion.*

solaires : quelles preuves serait-il possible de donner en leur faveur?

Une théorie de M. James Croll, astronome anglais, est mieux fondée. Elle est ainsi exposée et discutée par M. Charles Martins : « Les orbites que les planètes décrivent autour du soleil ne sont pas invariables, elles sont soumises à un changement séculaire. Avec le temps, l'excentricité de l'orbite terrestre augmente ou diminue, c'est-à-dire que l'ellipse décrite par la terre autour du soleil s'allonge d'abord naturellement pour se rapprocher ensuite de la forme circulaire. Actuellement, cette différence entre le diamètre de ce cercle et le grand axe de l'ellipse décrite par la terre est très-faible; elle équivaut seulement à la somme de 800 rayons terrestres environ. Appliquant les formules de M. le Verrier, M. Croll trouve par le calcul que cette excentricité était, il y a deux mille siècles, de 5,000 rayons terrestres. Alors les conditions climatériques de notre globe durent être profondément altérées et devenir complétement différentes dans les deux hémisphères. Voyons d'abord l'hémisphère nord. Si, avec cette grande excentricité la terre était comme maintenant à sa distance *maximum* du soleil pendant l'été, ses étés étaient certainement moins chauds que les étés actuels; mais la terre se trouvant en hiver à sa *moindre* distance du soleil, les hivers étaient plus doux; en d'autres termes, les saisons extrêmes se trouvaient égalisées. Dans l'hémisphère sud, les effets de cette grande excentricité étaient diamétralement opposés. Les hivers étaient plus froids et les étés plus chauds, en un mot, le climat devenait plus extrême. Quel était l'effet de ces changements pour favoriser ou arrêter l'extension des glaciers? Il serait difficile de le dire; mais la géologie nous enseigne que le phénomène glaciaire s'est produit simultanément dans les deux hémisphères : on a peine à concevoir que des perturbations climatériques opposées aient produit des effets identiques; c'est pourtant une conséquence forcée de l'hypothèse proposée par M. Croll. »

Nous devons à notre savant philosophe, Jean Reynaud, un travail sur la *Variation séculaire des saisons*[1] qui nous paraît présenter une des meilleures solutions du problème glaciaire. Elle a de l'analogie avec celle de M. Croll; on y arrive aussi à une

[1] Œuvres choisies : *Études encyclopédiques*, tome III

action opposée exercée sur les deux hémisphères, mais il y aurait alternance dans cette action par rapport à l'un ou à l'autre, dans une période beaucoup moins longue que celle qui dérive des calculs de l'astronome anglais. Ne considérons que l'excentricité actuelle, qui pourtant donne à peu près 1/15 pour la différence entre les quantités de chaleur envoyées par le soleil à la planète aux époques de périhélie et d'aphélie. On peut distinguer deux ordres de saisons : celles qui dérivent de l'inclinaison de l'écliptique et celles qui dérivent des variations de la distance de la terre au soleil pendant sa révolution annuelle. L'étude de leurs combinaisons, dans lesquelles entre nécessairement comme élément le mouvement nommé précession des équinoxes, dont la période est de 25,765 ans, donne les résultats suivants : en l'année 11,760 avant notre ère, le solstice d'hiver se trouvait en coïncidence avec l'aphélie et le solstice d'été avec le périhélie, tandis qu'en l'année 1122 de notre ère le solstice d'hiver tombait à l'époque du périhélie, et le solstice d'été à celle de l'aphélie. A la première époque, les étés des deux ordres de saisons agissant d'accord aussi bien que les deux hivers, la saison froide et la saison chaude possédaient l'une et l'autre dans notre hémisphère le caractère le plus prononcé qu'elles puissent avoir, et dans l'hémisphère sud ces deux saisons étaient toutes deux à leur maximum de modération. A la seconde époque le régime climatérique des deux hémisphères était inverse.

Selon Jean Reynaud, c'est à l'époque du plus grand contraste des saisons que les glaciers polaires et ceux des hautes montagnes doivent avoir leur plus grand accroissement. Nous devons rappeler la réponse qu'il oppose à l'objection que beaucoup de naturalistes seraient tentés de lui faire : « A première vue, il peut sembler paradoxal que le développement maximum des glaciers corresponde précisément aux époques où les étés possèdent leur maximum de chaleur; mais si l'on réfléchit que, par suite de la loi qui règle le mouvement des planètes dans leur orbite, il y a exactement compensation entre la durée de la saison chaude et sa température, on voit aussitôt la difficulté s'évanouir. En laissant de côté la considération des jours d'été d'une température trop peu élevée pour pouvoir déterminer la fusion de la glace, ainsi qu'il arrive parfois dans les régions polaires, on peut en effet poser en principe que la quantité totale de chaleur de l'été ne variant pas, la diminu-

tion dans le volume des glaciers causée par un été quelconque est constante. Il n'en est pas de même de l'accroissement causé par l'hiver. Aux étés d'un caractère ardent se lient les hivers longs et rigoureux, et par conséquent la quantité de neige et de glace qui se dépose aux latitudes et aux altitudes dont la température demeure au-dessous de zéro, augmente précisément dans la même proportion que la chaleur des étés. A mesure que le contraste entre les deux saisons se développe, l'étendue des glaciers s'accroît donc pendant la saison froide, et comme il ne s'en liquéfie jamais que la même quantité pendant la saison chaude, tout compte fait, leurs dimensions prennent de l'extension; et d'autant que le principe de la constance de fusion dont je me suis servi n'est pas même strict, puisqu'une même quantité de chaleur ne met en fusion une même quantité de glace qu'à la condition que la température soit identique; de sorte que les glaciers, à la fin des hivers les plus rigoureux, se présentant au soleil non-seulement avec plus d'étendue, mais avec une température générale plus basse qu'à la fin des hivers les plus modérés, la fusion y est naturellement plus restreinte[1]. »

Le phénomène glaciaire aurait eu lieu dans l'hémisphère boréal il y a 13,500 ans. La grande extension de la calotte de glace du pôle austral, la dimension des glaciers de la Nouvelle-Zélande et du Chili paraissent indiquer son règne actuel dans l'hémisphère sud, pendant que nous sommes encore près de l'époque où les glaces arctiques et les glaciers des hautes montagnes avaient leur moindre dimension dans le nôtre. Cette époque était le douzième siècle, où la vigne était cultivée en Angleterre et dans le nord de la France, et où florissaient au Groënland les colonies danoises, évacuées depuis par suite de l'envahissement du froid.

Remarquons que cette explication du phénomène glaciaire rend compte à la fois de son existence dans les diverses parties du globe et de sa répétition après un grand intervalle de temps.

F. Zurcher.

[1] Nous ajoutons que, selon la comparaison de M. Tyndall, citée plus haut, dans l'été plus ardent, le feu est augmenté sous « la chaudière » productrice des vapeurs.

II

LES PROGRÈS DE LA MÉTÉOROLOGIE.

Premier rapport annuel du comité météorologique de la Société royale d'Angleterre. — Météorologie de l'Océan. — Avis télégraphiques du temps. — Météorologie des Iles Britanniques. — Publications et travaux de l'Association scientifique et de la Société météorologique de France.

L'*Annuaire* a déjà fait connaître dans une série d'articles sur les récents progrès de la météorologie [1], les utiles applications de cette science nouvelle qui intéressent la navigation et l'agriculture, en même temps qu'elles fournissent à la physique du globe de nombreux et précieux documents. De plus en plus, la recherche et la coordination de ces documents sont soumis aux rigoureuses méthodes scientifiques, base de toute investigation féconde et de toute pratique rationnelle. C'est ainsi, par exemple, que la réorganisation du Bureau météorologique de Londres vient d'assurer le développement de l'œuvre excellente fondée par l'amiral Fitz-Roy, en la modifiant et la constituant solidement par un ensemble de mesures résumées dans le présent article.

Après la mort si regrettable du savant amiral, et sur l'avis du comité nommé par la Société royale, le Bureau du Commerce (*Board of Trade*) et l'Amirauté, pour examiner les questions relatives à l'organisation et au fonctionnement du Bureau météorologique, il fut décidé que la direction de ce bureau serait désormais confiée à un comité scientifique permanent, dont les membres, choisis par la Société royale, seraient chargés, sauf approbation du Bureau du Commerce, de l'organisation de cet important service, et de la nomination des divers fonctionnaires recevant une rémunération.

Les premiers membres désignés pour former le comité furent:

Le lieutenant-général Sabine, M. Gassiot, le Dr W. A. Miller, M. de la Rue, membres du comité de Kew.

[1] Tomes II, III, V, VI et VII, articles de MM. W. de Fonvielle, A. Guillemin, A. Pouriau, F. Zurcher et Margollé.

M. Francis Galton, M. W. Spottiswoode, officiers de l'Association britannique.

L'hydrographe de l'Amirauté.

Le colonel Smythe.

A leur première réunion, en janvier 1867, les membres du Comité météorologique nommèrent à l'unanimité :

M. Robert H. Scott, directeur du Bureau.

Le capitaine Henry Toynbee, de la marine du commerce, directeur du service maritime.

M. Balfour Stewart, secrétaire du Comité et directeur de l'Observatoire normal, à Kew.

Les fonctions du Comité, divisées en trois grandes branches, embrassent :

La météorologie de l'Océan, — les avis télégraphiques du temps, — la météorologie des Iles Britanniques.

Le premier rapport annuel du Comité, récemment publié[1], auquel nous empruntons ces détails, donne, au sujet des divers travaux en cours d'exécution, les intéressantes explications dont le résumé suit.

Météorologie de l'Océan. — L'objet de cette branche de recherches est la météorologie de toutes les parties de l'Océan, déduite des observations faites à bord des navires. Pour simplifier un travail si étendu, l'Océan a été divisé en un grand nombre de sections déterminées par des lignes de latitude et de longitude, et la météorologie de chaque section est discutée à part, avant d'entrer dans la coordination générale des documents recueillis. Les observations, portées sur des registres conformes à ceux adoptés par la conférence de Bruxelles en 1853, sont faites au moyen d'instruments vérifiés à l'observatoire de Kew, et confiés aux capitaines, qui peuvent d'ailleurs se les procurer au prix coûtant.

Les données des registres de bord sont copiées sur des livres de dates (*data books*) dont les colonnes correspondent à celles des registres, et dont chacun comprend un degré de latitude et de longitude, soit, pour ainsi dire, un degré carré, et embrasse une période d'un mois. Ces livres de dates, marqués de 0 à 99 pour chaque espace de 10 degrés carrés, offrent de grandes facilités

[1] *Report of the Meteorological Committee of the Royal Society.* Londres, 1868.

pour grouper les observations et pour préparer des investigations spéciales.

Le premier district choisi pour être ainsi exploré fut la région de l'Atlantique comprise entre les parallèles de 20° N. et 10° S., dont la limite septentrionale est parcourue d'une manière permanente par l'alizé du nord-est et la limite méridionale par celui du sud-est. Entre ces deux vents constants est renfermée la zone des calmes équatoriaux, dont l'oscillation annuelle s'étend du voisinage de l'équateur jusque vers le parallèle de 15° N.

Il est évident que les changements périodiques qui se produisent dans cette partie de l'Océan ne pourront être bien déterminés que par le minutieux examen des moyennes mensuelles d'observations pour chaque degré carré. C'est par cet examen qu'on peut espérer de résoudre la question si souvent posée par les capitaines qui ont fourni des registres au Bureau météorologique, et qui demandent quelle est la meilleure route à suivre pour traverser l'équateur dans chaque mois de l'année. Un examen semblable donnera probablement des indications non moins utiles, relatives aux routes des navires qui suivent les côtes d'Afrique ou de l'Amérique du Sud, dans les saisons où les variations des vents régnant dans ces parages peuvent prolonger leur traversée.

On pourra aussi découvrir l'origine de quelques-uns des ouragans qui fondent si fréquemment sur les Antilles, et qui font leur première apparition aux îles du Vent sous la forme de cyclones complétement développés. Enfin beaucoup reste à apprendre sur les divers courants de l'Atlantique, et spécialement sur le grand courant du golfe de Guinée. La question des températures de la surface de la mer, qui se rattache si étroitement à celle de ses courants, est l'objet d'une attention toute particulière, et pour recueillir les matériaux qui aideront à la résoudre, le Comité a fait appel aux compagnies qui ont établi les grandes lignes de navigation transatlantique. Les directeurs ont répondu dans le sens le plus favorable, et les observations qui sont dès aujourd'hui régulièrement faites sur les nombreux navires appartenant à ces compagnies, permettront de donner bientôt les températures moyennes mensuelles pour chaque degré carré placé dans la région parcourue.

Parmi les documents laissés par l'amiral Fitz-Roy se trouvaient des recherches sur les vents de l'Atlantique et des vues générales

sur la météorologie de l'océan Pacifique et des mers de Chine. Une partie de ces documents sera prochainement publiée.

La grande quantité de registres d'observation — près de 2,000 — accumulés dans le Bureau météorologique, et dont le nombre s'accroît incessamment, ne permet de livrer à l'impression, avec le personnel actuellement limité du Bureau, que quelques séries prêtes pour la discussion, et les résultats de cette discussion ne seraient que lentement obtenus, si les fonds mis à la disposition du Comité pour l'organisation du personnel n'étaient prochainement augmentés.

Le Comité, pour favoriser les progrès de la météorologie, envoie d'ailleurs aux corps scientifiques qui en font la demande, des extraits des registres d'observations, à la seule condition de payer la dépense de la copie. Les sociétés météorologiques d'Écosse, de l'île Maurice, de Calcutta sont déjà entrées ainsi en relation avec le Comité; et dernièrement des copies d'observations faites sur l'Atlantique ont été exceptionnellement envoyées sans frais au président de l'Association scientifique de France, M. Le Verrier, directeur de l'Observatoire impérial, en reconnaissance de sa cordiale coopération à l'œuvre de la météorologie télégraphique internationale.

Avis télégraphiques du temps. — Aussitôt son entrée en fonction, le Comité fit inspecter les diverses stations météorologiques situées sur les côtes des Iles Britanniques et en communication télégraphique avec Londres. Ces stations, établies par l'amiral Fitz-Roy, et pourvues par ses soins d'instruments d'observation, ont été réorganisées de manière à rendre tous les services qu'on peut en attendre ; et, pour compléter les informations qu'elles transmettent, des arrangements ont été pris afin d'assurer l'échange régulier de ces informations avec celles des principales stations météorologiques des côtes de France. M. Le Verrier, qui contribue avec une si persévérante activité à l'établissement de ces échanges, et qui publie dans le Bulletin quotidien de l'Observatoire impérial des rapports provenant des différentes stations météorologiques de l'Europe, fait aussi parvenir au bureau de Londres quelques-uns de ces rapports. Enfin, profitant des offres très-avantageuses faites par la compagnie du télégraphe transatlantique, les gouvernements de France et d'Angleterre se sont entendus pour faire les frais d'une dépêche quotidienne de Terre-Neuve.

« L'observation, dit le *Bulletin de l'Association scientifique de France*[1], est faite dans cette localité à 6 heures du matin, instant auquel il est déjà 10 heures à Paris. La dépêche, transmise immédiatement, arrive avant midi à l'Observatoire : elle peut servir pour les prévisions et elle est communiquée aux journaux du soir. Ce renseignement deviendra sans doute très-précieux avec le temps, en permettant de prévoir les mouvements des grands courants polaire et équatorial, dont les déplacements produisent ceux des grandes perturbations atmosphériques ; ce circuit se trouvera encore plus complet lorsqu'on aura posé le câble qui doit relier l'Espagne aux Açores. L'ensemble des nouvelles simultanées venues des différents points du circuit formé par l'Espagne, les Açores, les Antilles, Terre-Neuve et le Nord de l'Europe, Haparanda entre autres, permettront, il faut l'espérer, de tirer des conséquences utiles à la marine. »

Ajoutons que le bureau météorologique de Londres qui, depuis l'interruption du service télégraphique avec Héligoland, n'avait plus de communications avec la mer du Nord que par la station de Skudesnaes, a pris ses dispositions pour recevoir aussi un rapport journalier de celle de Cuxhaven.

En ce qui concerne l'annonce des ouragans et la prévision du temps, le Comité, après une enquête sur l'état de ce service, et sur les améliorations qui pourraient contribuer à l'avancement de la météorologie dans une si importante direction pratique, a fait connaître, par une circulaire datée du 30 novembre 1867, que le bureau météorologique de Londres était prêt à envoyer aux ports et aux stations de pêche des télégrammes donnant avis des grandes perturbations atmosphériques qui peuvent menacer les côtes ou le voisinage des Iles Britanniques.

Il est bien entendu, dit la circulaire, que le cylindre (*drum*) hissé comme signal à la réception de la dépêche, a seulement pour but de prévenir qu'il existe quelque part une perturbation atmosphérique pouvant atteindre le lieu où le signal est donné. Les changements locaux d'une moindre étendue peuvent être signalés à l'observateur par ses propres instruments, par les signes du temps, bien connus des marins, et par une étude des rapports météorologiques qui font chaque jour connaître le temps

[1] Numéro 52, janvier 1868.

régnant dans les autres stations. Le bureau météorologique envoie *franco*, par la poste, une copie de ces rapports quotidiens à tous les ports dont les autorités en font la demande. On peut d'ailleurs recevoir directement par le télégraphe tous les renseignements recueillis ou préparés par le bureau, en s'engageant à payer la moitié des frais de la dépêche.

La circulaire donne ensuite de très-utiles indications sur la nature, la marche et les signes des tempêtes qui soufflent sur les côtes des Iles Britanniques. Ces indications, qui intéressent également nos côtes de l'Océan, et que, faute d'espace, nous ne pouvons reproduire dans ce résumé, ont été publiées par M. Marié-Davy dans un des derniers numéros des *Annales du sauvetage maritime* (septembre 1868).

Le Comité, en prenant la moyenne de trois années, a constaté que sur 100 annonces de tempêtes, 75 ont été réalisées comme *force*, mais 38 seulement comme *direction*. M. le commandant de Rostaing, directeur du service météorologique au ministère de la marine, à Paris, a, de son côté, publié les résultats d'une semblable investigation[1], résumée dans un tableau récapitulatif qui montre que sur 100 prédictions de vents forts, 76 ont été réalisées, et que, sur 100 vents forts ressentis sur nos côtes de la Manche et de l'Océan, 89 avaient été prédits.

« Ces résultats sont fort beaux, dit M. de Rostaing, et prouvent que S. E. le ministre de la marine et des colonies, M. le marquis de Chasseloup-Laubat, n'a eu qu'à se féliciter en se servant, pour la marine impériale, des prévisions et avertissements de l'office météorologique de Londres.

« Ils font honneur à l'amiral Fitz-Roy, ainsi qu'à l'éminent physicien, M. Babington, qui, après la mort de l'amiral, a continué d'envoyer au département de la marine les prévisions qui font l'objet de ce travail. »

Après avoir organisé le nouveau service d'avertissement, le Comité de la Société royale désirant aussi donner de l'extension à ce service, et poursuivre l'étude systématique du temps, a

[1] *Météorologie nautique.* — Comparaison des prévisions de l'Office météorologique de Londres pour les côtes nord et ouest de France, avec l'état réel du temps observé sur ces côtes, par M. de Rostaing, capitaine de vaisseau. — Paris, 1867.

demandé dans les divers pays pourvus d'observatoires météorologiques : — Si des avertissements télégraphiques étaient adressés aux ports? — Si ces avertissements comprenaient l'annonce des tempêtes? — Si ces signaux servaient à transmettre les avertissements au public; — et dans ce cas de quelle nature étaient les signaux employés? — La France, la Hollande, l'Italie, l'Autriche et la Norwége ont adressé au Comité les réponses suivantes.

En France, M. Le Verrier publie un Bulletin quotidien de l'Observatoire impérial contenant les rapports d'environ 60 stations situées dans différentes parties de l'Europe. Il donne aussi des avis télégraphiques du temps régnant à un certain nombre de ports français et étrangers. En outre le ministère de la marine reçoit des rapports sémaphoriques sur l'état du temps, et en expédie le résumé télégraphique aux principaux ports. Aucun signal n'est employé pour faire connaître ces informations, qui sont simplement affichées dans les ports.

En Hollande, le professeur Buys Ballot, directeur de l'Institut royal météorologique d'Utrecht, emploie un appareil nommé *Aéroclinoscope*, qui sert à indiquer les changements de la pression atmosphérique. Les recherches du savant professeur l'ont conduit à conclure que la direction du vent qui souffle dans une station quelconque peut être prévue par la comparaison simultanée de la hauteur barométrique avec celle des stations adjacentes. L'appareil est mis en place chaque matin, afin de montrer la plus grande différence barométrique observée entre deux des stations suivantes : Groningue, le Helder, Maëstricht et Flessingue.

En Italie, le professeur Matteucci envoyait aux ports un résumé quotidien de l'état du temps; et les tempêtes sont annoncées, le jour, par un pavillon rouge, et la nuit par un feu.

En Autriche, le professeur Jelinck envoie aussi un résumé quotidien; les signaux de tempêtes sont, le jour, un cylindre, et la nuit un feu.

En Norwége, le professeur Mohn envoie le résumé quotidien mais aucun signal n'est employé.

Météorologie des Iles Britanniques. — Cette partie des études poursuivies par le Comité s'applique particulièrement à la météorologie *de terre* (*land meteorology*) des îles; la météorologie maritime étant, comme nous l'avons vu, l'objet de recherches spéciales.

Les stations établies ont été, autant que possible, distribuées de manière à embrasser la surface entière des îles, tout en donnant la garantie d'une bonne direction scientifique.

Ces stations sont jusqu'à présent au nombre de sept :

STATIONS	DIRIGÉES PAR
Kiew.. . .	Le comité de l'Association britannique.
Falmonth..	La Société royale polytechnique de Cornouailles.
Stonyhurst.	Le conseil du collége.
Glasgow. .	R. Grant LL. D., F. R. S., professeur d'astronomie.
Aberdeen .	D. Thomson, M. A., professeur de philosophie naturelle.
Armagh. .	Le Rév. T. Rommey Rodinson, D. D., F. R. S , astronome.
Valencia. .	Le Rév. Thos. Kerr.

Un savant météorologiste, M. Louis Crossley, a généreusement offert d'élever à ses frais un observatoire à Halifax, dans le Yorkshire, et d'y travailler d'accord avec le Comité de Londres, qui espère que ce bon exemple trouvera des imitateurs.

Les instruments enregistreurs, construits par les soins du Comité et adoptés pour les observatoires, sont : un *thermographe*, un *barographe* et un *anémographe*, qui enregistrent d'une manière continue la température de l'air et celle de l'évaporation, — la pression atmosphérique, — et la direction du vent. Le rapport du Comité donne d'intéressants détails sur les principes de la construction de ces instruments, et sur leur application à l'indication des éléments météorologiques[1].

Une somme de 250,000 francs a été votée par le Parlement, en 1867, pour assurer le fonctionnement du service dirigé par le Comité météorologique. Mais cette somme est insuffisante, et devra être augmentée, si après avoir obtenu le progrès des observations, on veut généraliser leur utilisation. Le Comité compte adresser prochainement une demande dans ce sens au gouvernement britannique, qui, sans doute, accordera volontiers les fonds nécessaires au développement d'une œuvre dont il a, dès l'origine, apprécié toute l'importance.

En France, ainsi que nous l'avons déjà dit, l'Association scientifique, présidée par M. Le Verrier, a été heureuse de reprendre avec le Comité de la Société royale, par l'intermédiaire de M. Ro-

[1] Voy. *Les instruments météorologiques enregistreurs*, par M. Pouriau. *Annuaire*, 7me année.

bert Scott, directeur du Bureau météorologique, les relations qu'elle avait autrefois avec l'amiral Fitz-Roy, et de contribuer ainsi à donner une nouvelle impulsion au service météorologique. « Cette reprise des travaux, dit le Bulletin de l'Association[1], a été saluée avec d'autant plus d'empressement que les études météorologiques des deux pays, France et Angleterre, sont essentiellement connexes, et que le succès des unes importe à la marche des autres. »

Le service des avertissements aux ports, régulièrement organisé à l'Observatoire impérial, a reçu, grâce au commun concours des directeurs d'observatoires et de lignes télégraphiques, une extension qui permettra de mieux prémunir contre les tempêtes les points les plus menacés, tant en France que dans les pays voisins. En ce qui concerne particulièrement la France, la publication annuelle d'un *Atlas météorologique*[2] donnant la marche des orages et la relation qu'ils présentent avec le mouvement général de l'atmosphère en Europe, permet d'embrasser d'un coup d'œil les diverses périodes orageuses, et de suivre leur succession pendant l'année. Cet examen, poursuivi avec persévérance, conduira sans doute « à réunir, dans une théorie générale, les circonstances si variables dans lesquelles se produisent les orages et les phénomènes si divers qui les accompagnent[3]. »

Un *Atlas des grands mouvements de l'atmosphère* est aussi en construction à l'Observatoire impérial. Deux cents quatorze cartes représentant la situation quotidienne de l'atmosphère et l'état de la mer depuis le 1er juin 1864 jusqu'au 31 décembre de la même année sont prêtes. Elles s'étendent depuis les côtes est de l'Amérique du Nord jusqu'aux limites est de l'Europe, et embrassent l'océan Atlantique et la mer du Nord, la mer Méditerranée, la mer Baltique et la mer Noire. Interrompu par la réorganisation qui s'effectuait en Angleterre, ce travail marche maintenant rapide-

[1] Février, 1868, n° 55.

[2] *Atlas météorologique de l'Observatoire impérial*, rédigé sur les documents recueillis et discutés par les commissions départementales, les Écoles normales, les observateurs cantonaux, etc., publié sous les auspices du ministre de l'instruction publique, et avec le concours de l'Association scientifique de France. — Années 1865-66-67.

[3] *Atlas météorologique de* 1867. Rapport sur l'étude des orages, par M. Émile Fron.

ment, grâce aux documents mis à la disposition de l'Observatoire par le Comité de Londres, documents fournis par la marine britannique et destinés à compléter ceux envoyés déjà par les marines de France, de Hollande, de Norwége, de Russie, etc.

L'utilité de pareils travaux est évidente, tant au point de vue des services pratiques qu'à celui des progrès de la physique du globe. L'Annuaire a déjà fait ressortir leur importance[1], et y reviendra sans doute dans un examen plus complet que ce rapide aperçu, et qui fera connaître les très-intéressants mémoires et documents météorologiques insérés dans l'Atlas des orages.

Aux travaux que nous venons d'indiquer, il faut joindre, en France, ceux de la Société météorologique, qui, en juillet 1867, nommait une commission prise dans le sein de son conseil et chargée de préparer la publication d'un recueil mensuel intitulé: *Nouvelles météorologiques*, qui s'ajouterait au recueil périodique annuel des travaux de la Société. Cette commission devait en outre faire appel au concours des météorologistes de l'Europe, et provoquer entre les divers observatoires l'échange de leurs documents principaux. Après avoir nettement défini le but à atteindre, elle adressa la circulaire suivante aux présidents des sociétés météorologiques et aux directeurs des instituts météorologiques de l'Europe :

« Le *Bulletin de l'Observatoire impérial* donne chaque jour aux météorologistes la carte et le tableau de l'état du ciel, à 8 heures du matin, sur les principaux points de l'Europe. De leur côté, les *Annales du sauvetage maritime* et le *Journal d'Agriculture pratique* présentent chaque mois, à leurs nombreux lecteurs, le tableau rétrospectif de l'état des vents et du ciel sur les côtes ou sur la surface de la France pendant le mois précédent.

« La Société météorologique de France, voulant s'associer d'une manière encore plus intime que par le passé à ces efforts éminemment propres à perfectionner la science et à populariser ses résultats pratiques, désire étendre à toute l'Europe les comparaisons dont les agriculteurs et les marins apprécieront l'importance.

« La Société, se reportant à une décision prise par elle, en 1860, de publier chaque mois un recueil de *Nouvelles météoro-*

[1] *L'Atlas des orages*, par M. F. Zurcher. — *Annuaire*, 7me année, 1868.

logiques, a l'honneur de solliciter votre adhésion à un projet d'échange basé sur une complète réciprocité, pouvant s'étendre à toutes les sociétés météorologiques du globe. Les travaux des Dove, des Quételet, des Kæmtz et autres témoignent hautement des bénéfices que la science peut retirer d'un semblable accord.

« Nos demandes sont limités aux éléments essentiels, aucune publication générale ne pouvant tenir lieu des annales de chaque établissement météorologique.

« Si la Société météorologique de... et vous, monsieur le Directeur, accueilliez favorablement notre demande et vouliez bien nous en informer, nous vous enverrions chaque mois, en retour, les observations faites dans trois ou quatre stations de la France.

« Veuillez, etc. »

Les réponses les plus favorables ne se firent pas longtemps attendre ; et grâce à une mesure libérale prise par les propriétaires du *Journal d'Agriculture pratique*, MM. Bixio et Cie, la Commission put élever de quatre à trente-deux le nombre des stations françaises dont elle promettait d'envoyer chaque mois les observations.

Le premier numéro des *Nouvelles météorologiques*, a paru en janvier 1868, et depuis, régulièrement, le 1er de chaque mois. La commission de rédaction se compose de MM. Charles Sainte-Claire Deville, président de la Société météorologique, Marié-Davy, secrétaire de la Société, Renou, Lemoine, Sonrel. Ces noms seuls expliquent l'accueil sympathique rencontré par la publication nouvelle auprès des principaux météorologistes de l'Europe, accueil justifié d'ailleurs par l'évidente utilité d'un recueil qui favorise avec une si intelligente activité les progrès de la science du temps, étroitement liés aux progrès de la navigation, de l'agriculture et de l'acclimatation[1].

[1] Dans une note sur la culture du quinquina en Algérie, M. Hardy, directeur du Jardin d'acclimatation d'Alger, disait récemment : « Les observations météorologiques sont indispensables aujourd'hui pour quiconque veut faire de l'agriculture intelligente et sortir de la routine. Dans les questions de naturalisation de végétaux surtout, elles sont d'une importance capitale, et l'homme qui s'occupe de ces questions doit consulter le thermomètre absolument comme le mécanicien consulte le manomètre d'une machine à vapeur. » *Bulletin de la Société d'acclimatation*. Août 1868.

« La météorologie, disait très-bien la commission dans son programme, ne peut progresser que par le concours d'un très-grand nombre d'observateurs consciencieux; mais, par sa nature même et par son application à tous les usages de la vie dans nos sociétés modernes, elle a su faire naître autour d'elle un mouvement considérable et des sympathies actives, dont il lui importe de faire un bon emploi. Il lui faut favoriser le mouvement qui la pousse en avant, en encourager tous les genres de concours, en approchant de chaque effort le but pratique auquel il doit tendre, tout en permettant à la science de se constituer. »

ÉLIE MARGOLLÉ.

III

LES TREMBLEMENTS DE TERRE EN 1868

La terrible convulsion terrestre qui vient d'anéantir, il y a quelques mois, dix villes américaines, comptera parmi les plus grands sinistres dont l'histoire du globe puisse nous garder le souvenir, et la douloureuse impression sous laquelle elle a laissé les deux mondes n'est pas encore effacée. Ce bouleversement est-il du moins un garant pour l'avenir, et les habitants des contrées méridionales de l'Amérique, si souvent et depuis si longtemps éprouvées, doivent-ils espérer un sol mieux affermi? Le contraire est malheureusement à craindre. — Les phénomènes physiques qui se succèdent depuis plusieurs siècles déjà le long des Andes et des Cordillères, notamment vers l'isthme de l'Amérique centrale, semblent démontrer qu'un grand travail souterrain s'opère dans ces régions, travail qui probablement ne cessera, ou plutôt ne se régularisera que lorsque le sol, soulevé définitivement en un nombre suffisant d'endroits, offrira assez de ces soupapes de sûreté, les volcans, qui paraissent avoir pour effet de transformer les soubresauts convulsifs des masses liquides souterraines en de véritables marées.

L'année dernière déjà, après le soulèvement d'un cône de 100 pieds environ, avec une éruption sablonneuse abondante, dans une plaine du Nicaragua, un volcan nouveau s'était ouvert à Conchagua le 23 février, au moment où se faisaient sentir les dernières oscillations d'un tremblement de terre dont les secousses réitérées n'avaient pas duré moins de dix jours; l'ouverture de ce cratère n'a pu préserver le nord de la péninsule américaine des effets désastreux du dernier cataclysme. Pendant la fin de l'année 1867 et les premiers mois de 1868, quelques oscillations légères s'étaient produites seulement, et les habitants du littoral du Pacifique, habitués aux caprices d'un sol mouvant, pouvaient croire à une nouvelle période de calme relatif, lorsqu'a éclaté la catastrophe du mois d'août.

Si l'on jette les yeux sur une carte d'Amérique, on voit que les ouvertures volcaniques des crêtes élevées de la chaîne méridionale des Andes, en petit nombre, sont les dernières d'une série qui partant du nord, dans le Mexique, traverse l'état de San-Salvador où elle compte onze cratères importants, et se prolonge dans le Nicaragua (volcans d'El Viejo, de Zelica, etc.). C'est cette immense fracture du globe, d'un âge relativement moderne, dont le voisinage est le théâtre de continuelles trépidations du sol, c'est elle qui indique précisément la direction du mouvement général, au moins sur le continent américain, dans le dernier tremblement de terre. Le courant des oscillations allait du sud au nord, de Méjillones, dans la Bolivie, jusqu'à Ibarra et Acunga, dans l'Équateur, pour se reproduire, au delà de l'isthme de Panama, sur la côte orientale du Pacifique, jusqu'à San-Francisco, bouleversé deux fois en quinze jours.

La première secousse se fit sentir le 13, vers cinq heures du soir, les secousses suivantes se succédèrent avec quelques interruptions jusqu'au 16, et même, dans le Pérou, jusqu'au 22. A Arica et Arequipa, la première onde, si violente qu'on avait peine à se tenir debout, se prolongea pendant près de 8 minutes suivant quelques témoins oculaires, pendant 5 minutes seulement suivant d'autres. Doit-on considérer ce dernier chiffre même comme l'expression de la vérité? Il n'est pas aisé, on l'imagine, de se rendre un compte exact de la durée de phénomènes dont le plus souvent un des premiers effets est de déranger les mécanismes capables de servir à l'évaluation du temps, et rien n'est

aussi facile, comme l'expérience l'a démontré, que de s'exagérer la durée des secousses ou des ondulations terrestres, qui plongent généralement les spectateurs dans une angoisse et une prostration inexprimables. Quoi qu'il en soit, dès la soirée du 13, Arequipa, ville formée presque entièrement de maisons en pierres de taille et à un seul étage, était à peu près détruite. Pendant la même journée, les rails du chemin de fer de Tacna à Arica, soulevés comme par des ressorts, sautaient en l'air, et la voie ferrée s'est bientôt trouvée détruite en grande partie. — En plusieurs endroits, dès les premières oscillations, le sol s'est fendu et entr'ouvert, et l'eau a jailli des crevasses ainsi formées ; des flancs des montagnes s'échappaient également des torrents boueux et noirâtres. Presque partout, sur la route de l'onde séismique, le fond soulevé des rivières a laissé dès le commencement déborder les eaux : par un phénomène qui a beaucoup frappé ceux qui en ont été témoins et qui probablement doit trouver son explication dans la nature minéralogique des couches sous-jacentes, ces eaux débordées paraissaient d'une couleur étrange, rouge de sang.

Pendant la secousse du 13, l'air s'obscurcit beaucoup sur presque tout le littoral ; vers huit heures du soir, à Tacna, le ciel s'éclaira tout à coup vers le nord-ouest d'une lumière remarquable par son intensité et dont la clarté dura près d'une minute ; la umière disparut au bout de ce temps, illumina de nouveau l'atmosphère pendant la même durée, mais avec moins d'éclat, disparut de nouveau pour reparaître encore moins vive, et enfin s'évanouit complétement. Ces phénomènes, dont quelques-uns ont herché la cause dans l'éruption momentanée de quelque cratère, emblent, à notre humble avis, devoir être plutôt rapprochés des météores électriques qui se multiplièrent vers la même époque ans les régions méridionales de l'Amérique et qui, observés surout en mer, semèrent l'effroi et même la mort sur plus d'un avire. Ainsi, nous raconte le *New-York Herald*, le 17 août, rès de Crowdy-Head, l'équipage du schooner *Urania* était occupé à carguer les voiles devant un coup de vent du sud-est, lorsqu'apparut un météore semblable à un boulet rouge qui tomba et t explosion sur le pont : un malheureux matelot fut tué, et hacun à bord ressentit une commotion violente, comparable à elle qu'eût donnée la décharge d'une batterie électrique ; la ca-

bine fut en même temps remplie de fumée, au point que tous les papiers en évidence se trouvèrent complétement noircis. — Dans la nuit précédente, le capitaine Milinan, se dirigeant vers Sidney, avait également aperçu une sorte de boulet rouge. Ce corps, illuminant le ciel et faisant entendre un bruit pareil à celui du tonnerre, voyageait au-dessus du pont du bâtiment, du N.-O. au S.-E., et resta en vue pendant quelques instants.

Tout porte à croire que bien d'autres observations du même genre ont été faites, et les navires en station ou en course dans l'océan Pacifique rapporteront sans doute de nouveaux récits.

Le long des côtes américaines, le sol n'a pas été le seul théâtre du bouleversement. Dès le début, l'agitation du fond de l'Océan se traduisait par le bouillonnement de sa surface et par des phénomènes destructeurs de toute sorte. Pendant les premières secousses du 13, sur la côte péruvienne, et surtout devant Arica, un courant d'une extrême violence se produisit, dirigé du nord au sud, brisant les ancres les plus vigoureuses et entraînant les navires dans une course rapide ; après moins d'une demi-heure, ce courant, changeant brusquement de sens sans rien perdre de sa violence, se précipitait du sud au nord. En même temps la mer se retirait, laissant à sec les endroits où mouillaient d'ordinaire les bâtiments du plus fort tonnage ; enfin les eaux de l'Océan, troubles et comme remplies de sable ou de cendres, se précipitèrent avec impétuosité sur la côte, entraînant avec elles les navires qu'elles ballottaient déjà depuis une heure. Trois fois successivement cette marée monstrueuse s'avança et se retira, balayant des montagnes de décombres, achevant d'anéantir les villes presque détruites déjà par les secousses du sol.

Plusieurs navires furent rejetés à 1000 ou 1500 mètres dans l'intérieur des terres et restèrent ensablés.

A partir de la soirée du 13 août, et jusqu'au 17, dans presque toute l'étendue de l'immense zone américaine qui s'étend depuis le tropique du Capricorne jusqu'au 10e degré de latitude septentrionale, le sol n'a cessé de trembler ; il faut remarquer cependant que, tandis que le mouvement semblait aller en s'apaisant dans les régions méridionales, il se manifestait avec une violence croissante dans le nord : à Islay, pendant la nuit du 13 au 14, on compta plus de quarante secousses, et le 17 la terre tremblait encore. Mais c'est dans la journée du 16 que le cataclysme a produit

ses plus terribles effets dans l'Équateur ; Quito, la capitale de cette république a, pour la seconde fois, en trois quarts de siècle, échappé à une complète destruction ; mais à Ibarra, à Cotoçachi, à Otavala, la population presque tout entière a péri.

Quelques jours après, enfin, le Mexique et la Californie subissaient les atteintes du terrible fléau : le 21 août, vers dix heures du matin, l'Ixtacihualt faisait entendre un sourd grondement, et en même temps l'on pouvait voir cette montagne s'agiter lentement et s'ouvrir à son sommet oriental, en laissant échapper avec violence des masses gazeuses abondantes. Des pierres, des rochers entiers même, étaient lancés en même temps, et dans leur chute rapide sur les flancs de la montagne, brisaient ou arrachaient tous les arbres sur leur passage: un nouveau cratère venait de s'ouvrir. Un autre volcan éteint, le Penon, situé tout près de Mexico, semblait aussi vouloir se réveiller, et aujourd'hui les habitants de la capitale du Mexique n'ont pas encore cessé de craindre une éruption.

Le caractère de généralité affecté par les récents bouleversements terrestres est véritablement remarquable: les derniers mois qui viennent de s'écouler ont vu presque partout se succéder les phénomènes volcaniques et les ébranlements du sol. Il est bien probable que jamais l'homme n'a assisté à une pareille convulsion du globe ; les cataclysmes que l'histoire a déjà enregistrés, cataclysmes dont l'action s'est toujours renfermée dans un cercle assez restreint, en offrant dans leur propagation une sorte de régularité, ne sont rien à côté des phénomènes destructeurs multiples, presque universels, qui rendront l'année 1868 tristement célèbre. Dès les premiers jours de janvier, on ressentait à Naples un tremblement de terre, et presqu'en même temps se manifestait l'éruption du Vésuve qui n'a pas encore cessé. Deux semaines après, le sol de l'Algérie s'agitait : c'est du reste une remarque faite depuis longtemps, que les éruptions du Vésuve correspondent presque toujours à des trépidations du sol algérien. Constantine, Philippeville, Alger, ressentirent presqu'à la même heure, le 22 janvier, des secousses assez violentes pour répandre l'alarme parmi les habitants. A la même date, le mois suivant, c'était le Caucase asiatique qui devenait le théâtre d'un tremblement de terre : à Alexandropol, à Tiflis, le sol semblait s'affaisser sous les pieds, en oscillant avec force dans une direction allant à peu près du

nord au sud. Le 2 avril, d'épouvantables commotions, accompagnées de phénomènes éruptifs de toutes sortes, bouleversaient l'archipel des Sandwich, et surtout la principale de ces îles, Hawaï.

Tandis que le Mauna-Loa, volcan de plus de 4000 mètres d'élévation, vomissait par plusieurs cratères des torrents de lave incandescente, éclairant ainsi, au milieu de la nuit, un rayon de cinquante milles ; des secousses réitérées ébranlaient l'île jusque dans ses fondements, renversant les bâtiments, détruisant des villages entiers et répandant partout la ruine et la désolation.

Au mois d'août, presqu'en même temps que sur les côtes américaines, des ébranlements séismiques se faisaient sentir de nouveau aux îles Sandwich et jusque dans la Nouvelle-Zélande : à Hawaï, Hilo, le niveau du rivage de la mer fut couvert d'un dépôt de sédiment, et subit, suivant les endroits, une variation en hauteur de 1 à 6 pieds. A Hilo, Pura et Kanfroll, des tremblements de terre avaient lieu journellement. A Hilo, en particulier, le niveau de la surface de la mer offrait des oscillations, d'une période de dix minutes environ, et remarquables par leur régularité.

Les points les plus divers de l'Europe même ont été éprouvés pendant les mois d'août et de septembre ; en France, le Puy ; dans le Midi, Gibraltar ; en Irlande et en Angleterre, Cork et Methyr ont ressenti des secousses plus ou moins violentes. La Hongrie, menacée depuis deux mois par des bruits et des mouvements souterrains, était fortement ébranlée le 20 et le 21 août. Depuis, le sol a également tremblé à Cologne, à Bucharest et dans diverses localités du centre de l'Europe.

Enfin les journaux américains du dernier mois nous apportent les plus affligeantes nouvelles : le 13 novembre, vers une heure du matin, de violentes secousses agitaient la ville de Cupiapo et son voisinage ; les oscillations étaient accompagnées d'un bruit souterrain effrayant. Pendant que Cupiapo était bouleversé de fond en comble, le volcan Lallallao, situé à 80 lieues de cette ville, dans la chaîne des Andes, entrait en éruption et laissait échapper de larges ruisseaux de lave. Ainsi, les efforts intérieurs qui agitent depuis si longtemps le sol de la péninsule américaine, se propagent même à l'est des Andes, sans que l'on puisse dire où cela s'arrêtera. Cependant, à l'heure où nous écrivons,

cette grande tourmente de la nature semble s'apaiser : peut-être un moyen d'expansion s'est-il offert aux matières comprimées sous l'écorce terrestre, peut-être est-ce une bouche sous-marine qui a vomi dans le Pacifique ces amas de pierre ponce que l'on y rencontre depuis quelque temps, épaves gigantesques, probablement, des mers incandescentes qui bouillonnent à l'intérieur de notre globe.

On sait que les tremblements de terre s'étendent en général à partir d'un point central, suivant des courbes sensiblement circulaires, obéissant du reste en cela aux lois générales de la propagation des ébranlements dans des milieux qui offrent à peu près, dans tous les sens, la même résistance : dans le cas des secousses du mois d'août, le centre d'ébranlement, d'après la durée, l'heure et la violence des secousses, paraît situé un peu au sud de Lima ; mais on conçoit que la forme du littoral américain et les conditions géographiques que nous rappelions au début de cet article, se soient opposées à une propagation régulière. Les effets de la catastrophe se sont surtout localisés dans les villes, trop nombreuses malheureusement, situées le long de la côte : Ica, Tacna, Moquega, Arequipa, Iquique, et bien d'autres dont les noms seuls suffiraient à remplir une page, n'étaient plus, dès le 16 août, que des monceaux de ruines, où les sources taries, les magasins détruits et emportés, les cadavres entassés sous un ardent soleil, laissaient les misérables échappés au désastre en proie autant aux horreurs de la peste qu'aux étreintes de la famine.

Laissons ces tristes détails. Après une semblable catastrophe, l'homme, le premier moment de stupeur passé, reprend vite son rôle de chercheur et d'analyste, et les plus grands fléaux même deviennent pour la science des éléments de progrès : les traces qu'ont laissées des convulsions plus anciennes de notre globe nous ont indiqué, sinon appris, la vraie genèse ; c'est dans l'étude des phénomènes terrestres auxquels il nous a été donné d'assister, que nous trouverons ce qu'on pourrait appeler le présent et peut-être l'avenir de l'histoire de notre monde.

Il n'est pas temps encore de formuler sur la cause probable du cataclysme que nous venons de décrire une explication complète, les renseignements sont encore trop incomplets, et nous laisserons à un autre plus compétent le soin de revenir sur cette importante

question dans un des prochains volumes de ce recueil. Nous rappellerons, toutefois, que deux opinions sont en présence. En Allemagne on attribue souvent les tremblements de terre à l'effondrement de cavernes souterraines excisées par les eaux au-dessous de la surface, et on conçoit au premier abord que la composition des substances rejetées par les volcans ait pu appuyer cette manière de voir ; en effet, les jets de substances liquides ou gazeuses ont lieu très-fréquemment ; et, il est remarquable que les substances minérales qu'elles entraînent présentent la plus grande analogie avec celles que l'on peut trouver dans les eaux des mers. En outre, on sait de quelle importance a été le rôle joué par les eaux dans un grand nombre de bouleversements que l'histoire a enregistrés. Le tremblement de terre de 1868 nous en offre d'ailleurs un exemple frappant et terrible : dans l'Équateur, des villes bâties même dans l'intérieur des terres ont été submergées. Cotocachi, située à une grande hauteur au dessus du niveau de la mer, a vu s'affaisser la montagne du même nom, qui l'avoisine, tandis que se déversaient sur la ville des torrents d'eau échappés des flancs de cette énorme masse; aujourd'hui, Cotocachi, naguère cité de 65,000 âmes, n'est plus qu'un vaste lac.

C'est la production de semblables phénomènes qui a fait naître l'idée que, de même que la plupart des actions lentes, régulières, progressives, qui se produisent incessamment à la surface du globe, et dont les effets ne nous sont rendus sensibles qu'après de longues périodes, étaient dues à l'action des eaux, de même l'on devait attribuer à ces dernières les effets non moins gigantesques et plus rapides qui se traduisent à nous d'une manière si désastreuse. Ce seraient alors les phénomènes presque extérieurs causés par les pluies, les ouragans, l'infiltration graduelle des eaux, qui donneraient naissance, à des intervalles de temps plus ou moins éloignés, aux bouleversements superficiels ou souterrains. Rien n'indique la complète continuité de l'écorce solide de notre planète, des vides, des voûtes plus ou moins solides peuvent s'y rencontrer à des profondeurs plus ou moins grandes, et l'effondrement de ces cavernes sous des actions séculaires pourrait donner lieu, en se répercutant au loin, à des secousses et à des ondulations de la surface du sol. Imaginez les catacombes de Paris abandonnées à elles-mêmes, supposez supprimé l'écoulement artificiel des eaux pluviales ; ces dernières, en filtrant goutte à

goutte dans les couches supérieures, se creuseront par un travail incessant mille petits canaux par où elles arriveront bientôt à s'épancher jusque sur le sol inférieur de la cavité, attaquant à la fois et la voûte et ses supports : dans un nombre limité d'années, l'écroulement de ces souterrains deviendrait inévitable, et la répercussion s'en ferait sentir à une distance relativement grande. D'ailleurs, tous les jours nous assistons à des chutes de rochers, de montagnes même, dont l'origine est tout à fait analogue, et dont l'influence mécanique se transmet fort loin. Dans les montagnes du Dauphiné, les habitants considèrent comme des tremblements de terre et rapportent souvent à de tout autres causes que les véritables, les contre-coups des effondrements lointains de glaces ou de neiges, qui se produisent dans les Alpes.

La théorie des causes locales ne peut cependant s'accorder avec le fait reconnu aujourd'hui que les tremblements de terre sont très-fréquents dans tous les points du globe, et de plus qu'ils se produisent presque toujours suivant ces lignes de grande fracture jalonnées par les systèmes de montagnes ; ainsi le terrible tremblement de terre de 1868 qui a ravagé la péninsule américaine s'est fait sentir sur toute la côte de l'Amérique méridionale, tout le long de la chaîne des Andes, et, s'il est invraisemblable qu'il y ait eu des cavernes sous toute cette chaîne, il est extrêmement probable au contraire que cette grande fracture du globe relativement récente n'est pas encore complétement consolidée et que les mouvements du noyau liquide de notre planète peuvent exercer sur les compartiments de l'écorce encore mal réunis une action suffisante pour les faire jouer légèrement les uns sur les autres[1].

Quant à la cause de ces mouvements, peut-être faudrait-il l'attribuer non-seulement à l'action simultanée de la lune et du soleil dont l'effort réuni aux syzygies pourrait déterminer une sorte de marée intérieure, capable d'exercer sur l'écorce une pression assez considérable pour déterminer un petit déplacement, mais encore à l'influence d'un anneau de météorites dont le rapprochement correspondrait précisément à l'époque du tremblement de terre, puisque le 10 août est toujours une des époques où les étoiles filantes apparaissent le plus communément. En raison

[1] Voyez, *Annuaire de* 1865, le bel article de M. Reitop sur le réseau pentagonal.

même de la diversité des idées émises à propos des phénomènes souterrains, on comprend du reste tout l'intérêt que la science peut attacher à la connaissance exacte des détails dans l'histoire de ces bouleversements, à l'observation de toutes circonstances qui les précèdent, les accompagnent ou les suivent. — A ces études se sont dévoués des hommes éminents :

En France, M. Alexis Perrey ; à Zurich, M. Wolf ; en Allemagne, M. Otto Volger se sont faits ainsi les historiographes de notre planète. Les travaux du premier de ces savants nous ont déjà montré que, de même que les marées océaniques, les soulèvements du sol étaient plus nombreux et plus terribles aux syzygies qu'aux quadratures lunaires. Déjà M. Mérian, dans le Valais, et après lui M. Otto Volger, avaient mis en évidence la répétition, plus fréquente en hiver qu'en été, des tremblements de terre, dans les régions montagneuses. Les travaux de M. Wolf, dirigés vers un but spécial, chercheraient à établir un rapport entre l'intensité et le nombre de ces phénomènes et l'état des taches solaires.

JULES DALSÈME.

IV

LES MÉTÉORITES.

TRAVAUX DE M. DAUBRÉE.

L'étude des météorites, comme celle de beaucoup de phénomènes naturels, a traversé, dans un ordre régulier, plusieurs phases distinctes.

Le fait de la chute des pierres, d'abord déclaré fabuleux, a été admis par les savants ; puis ensuite toutes ses circonstances ont été soumises à une analyse approfondie ; enfin la synthèse vient à son tour éclairer aujourd'hui ce magnifique sujet, qui forme une branche importante de la science du monde.

Déjà, dans un article inséré dans un précédent volume[1],

[1] *Annuaire* de 1863.

M. de Fonvielle s'est occupé du côté historique et descriptif de la question, et, quoique nous ne partagions pas complétement son avis sur plusieurs des points qu'il a traités, nous ne croyons devoir revenir sur la description des météorites que juste autant qu'il est absolument nécessaire pour rendre intelligible l'exposé des expériences synthétiques et de leurs résultats.

I

DESCRIPTION DES MÉTÉORITES.

Au point de vue spécial auquel nous sommes ainsi placés, nous pouvons faire complétement abstraction de l'origine des météorites, les considérer comme de simples échantillons lithologiques et chercher à découvrir les circonstances qui ont accompagné leur formation.

Or, il suffit d'un coup d'œil jeté sur une suite suffisamment nombreuse de ces masses extraterrestres pour rester convaincus qu'elles n'ont pu toutes prendre naissance dans des conditions identiques.

Pour le comprendre, rappelons rapidement la caractéristique des principaux types de météorite.

Le premier de ces types comprend les masses à peu près exclusivement métalliques auxquelles on donne communément le nom de *fers météoriques*.

Ils sont, comme c'est du reste le cas pour toutes les météorites, enveloppés d'une croûte continue ou vernis en général d'un noir mat. On connaît des fers de fort petites dimensions, mais c'est à ce type qu'appartiennent les météorites les plus pesantes : le Muséum en possède trois qui pèsent 780, 625 et 104 kilogrammes. La première a été rapportée de Charcas, lors de la récente expédition que nos troupes sont allées faire au Mexique ; la seconde a été découverte par Brard en 1828, à la porte de l'église du village de Caille (Alpes-Maritimes) ; la dernière enfin a été offerte l'année dernière à la suite de l'Exposition par le gouvernement du Chili. Elle provient de la région la plus élevée des Andes, non loin du Rio-Juncal.

Les époques auxquelles ces trois masses sont arrivées sur la terre sont inconnues, mais leur origine céleste n'en est pas moins indiscutable : c'est que le fer météorique présente des caractères qui n'appartiennent qu'à lui, de façon que, suivant la remarque de M. de Fonvielle, on peut le comparer au Coran disant : « Si l'on doute de ma divinité, que l'on présente un livre semblable à moi. » Disons pourtant que, comme on le verra tout à l'heure, il paraît très-possible de fabriquer artificiellement des contrefaçons de ces fers, c'est-à-dire, en termes plus scientifiques, d'en réaliser la reproduction synthétique.

Sans insister ici sur les caractères spéciaux des fers météoriques, disons que le plus frappant, outre la présence si habituelle du nickel, et en même temps le plus facile à constater, consiste dans l'apparition de dessins réguliers sur les lames préalablement polies que l'on soumet à l'action des acides. Ajoutons que ces dessins, qui portent le nom de *figure de Widrianstœtten*, en l'honneur du savant qui les a découverts, varient d'un fer à l'autre de façon à caractériser d'une manière souvent très-nette les échantillons appartenant à une même chute.

Le nombre des fers météoriques connus est très-considérable, et cependant il est extrêmement rare de constater la chute de météorites métalliques : sur les sept chutes observées cette année, aucune n'appartient au type qui nous occupe maintenant, et depuis plus de cent ans, deux fers seulement sont tombés en Europe l'un près d'Agram, en Croatie, le 26 mai 1751, l'autre à Braunau en Bohême, le 14 juillet 1847.

A côté des fers proprement dits, s'en placent d'autres qui renferment un très-grand nombre de grains pierreux, de sorte que le fer métallique y est réduit à l'état d'une masse caverneuse ayant conservé les caractères de composition et de structure propres au fer météorique. La matière pierreuse est, au moins dans le plus grand nombre des cas, le minéral connu sous le nom de *péridot*. C'est un silicate magnésien que le joaillier considère, quand il est suffisamment pur comme une pierre précieuse. Il est vrai qu'il ne lui donne pas, tant s'en faut, le premier rang parmi les gemmes, comme en témoigne ce dicton populaire : « Qui a deux péridots en a un de trop. » On verra dans ce qui va suivre que l'importance scientifique du péridot laisse bien loin derrière elle son intérêt lapidaire.

Un échantillon de fer spongieux célèbre entre tous dans la science, est celui qu'un illustre naturaliste russe du siècle dernier, Pallas, découvrit en 1776 à Krasnojarsk, en Sibérie[1]. Des blocs tout pareils ont été rencontrés depuis dans le désert d'Atacama, en Bolivie[2].

Le troisième type que nous pouvons distinguer parmi les météorites renferme des masses constituées par des grains tuberculeux reliés par une pâte pierreuse. Un échantillon trouvé en 1862 dans la Sierra de Chaco, en Bolivie, représente ce type dans toute sa pureté[3].

Souvent les deux types précédents sont réunis sous la dénomination spéciale de *lithosidérites*.

Mais les météorites les plus fréquentes ont tout à fait l'apparence de pierres : ce sont des masses grises et rudes au toucher. Cependant en les examinant de plus près, on trouve qu'elles sont remplies de grenailles de fer métallique, et ce fer présente encore les propriétés caractéristiques de composition et de structure des fers météoriques.

La masse pierreuse, dont la composition n'est pas très-éloignée de celle d'un mélange de péridot et d'amphibole ou de pyroxène, renferme, outre le fer, du sulfure de fer, des petites boules pierreuses très-remarquables, et quelques autres substances qu'il n'y aurait aucun intérêt à énumérer.

On aura une idée de la fréquence relative de ce type quand on saura que sur les sept chutes observées cette année, cinq en font partie. Ce sont, par ordre de date, les chutes de Pultusk près de Varsovie (30 janvier) ; Motta dei Conti près de Casale en Italie (29 février) ; Slavetiz près d'Agram en Croatie (22 mai) ; Pnompehn dans le Cambodge (derniers jours de juin) et Sauguis-Saint-Étienne près de Mauléon, dans les Basses-Pyrénées (8 septembre).

On peut dire d'une manière générale que sur dix chutes de météorites non entièrement métalliques, réunies dans les collections, il y en a neuf au moins qui appartiennent au groupe que nous venons de décrire : on a donc été pleinement autorisé à lui donner le nom de *type commun*.

[1] *Voyages de Pallas*, t. IV, p. 585, édit. in-4°.
[2] *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. LVIII, p. 551.
[3] *Comptes rendus*, etc., t. LVIII, p 551.

Quelques météorites pierreuses diffèrent beaucoup de celles qui précèdent.

Les unes dont les chutes de Chassigny (Haute-Marne) le 3 octobre 1815 et de Luotalaks (Finlande), le 13 décembre 1815, nous fournissent les meilleurs exemples, sont entièrement formées de péridot.

Les autres, parmi lesquelles on peut citer celles qui tombèrent à Stannern, en Moravie, le 22 mai 1808 ; à Jonzac (Charente-Inférieure) le 13 juin 1819 et à Juvinas (Ardèche), le 15 juin 1821, ont une composition plus complexe. Elles se distinguent à première vue, en ce que leur croûte noire, au lieu d'être mate, est extrêmement luisante et comme vernie. Étudiées au point de vue chimique, ces météorites se montrent pauvres en magnésie, substance qui domine dans les précédentes et riches au contraire en alumine.

Enfin, pour terminer cette revue des principaux types de météorites, il reste à dire un mot de substances essentiellement différentes de toutes celles dont il a été question et qui ont attiré l'attention d'une manière toute spéciale.

Il s'agit des météorites charbonneuses dont on ne connaît jusqu'ici que quatre chutes bien constatées. La première eut lieu à Alais (Gard), le 15 mars 1806 ; la seconde au cap de Bonne-Espérance, le 13 octobre 1838 ; la troisième à Kaba (Hongrie), le 15 avril 1857 et le quatrième à Orgueil (Tarn-et-Garonne), le 14 mai 1864[1].

Ces météorites ont, à première vue, l'aspect de certaines tourbes ; elles sont friables et tombent immédiatement en boue au contact de l'eau. Une croûte noire et mate les recouvre et ce vernis présente souvent des bourrelets et des rides.

Leur composition est extrêmement intéressante : on y trouve une matière oxhydrocarbonée analogue à celles qui résultent de la décomposition des substances organisées, des sels ammoniacaux, de l'eau, des carbonates : matières spéciales à ces curieuses météorites.

[1] Voyez un article de M. Dehérain dans l'*Annuaire* de 1865.

I

MODE DE FORMATION DE MÉTÉORITES.

Voici donc au moins sept types parfaitement distincts sous le rapport de la composition. Évidemment pour qui les a vus d'un peu près, il serait irrationnel de leur attribuer à tous le même mode de formation. Les fers météoriques et les pierres charbonneuses, par exemple, sont à n'en pas douter les produits de réactions bien différentes.

En étudiant à ce nouveau point de vue les météorites décrites tout à l'heure, on arrive tout naturellement à les diviser en trois grands groupes d'importance d'ailleurs bien inégale :

1° Les fers, les lithosidérites, les météorites du type commun, etc.
2° Les météorites alumineuses.
3° Les météorites charbonneuses.

Les premières sont très-certainement des produits de la voie sèche. Il est probable que les secondes doivent leur état si nettement cristallin à cette voie mixte que l'on suit dans les expériences où intervient l'eau suréchauffée ; les derniers enfin contiennent des produits qui paraissent dériver de la voie humide proprement dite.

Montrons qu'un autre ordre de considérations vient pleinement justifier cette manière de voir.

Dans un travail publié en 1850[1], un géologue distingué de l'Aveyron, M. Boisse, a eu l'idée d'exprimer les rapports existant entre les différents types de météorites en supposant ces corps réunis en une sphère composée de couches concentriques, dont les plus denses occupent le centre, les moins denses, la surface, et les autres toutes les positions intermédiaires. Un pareil globe étant réalisé, si on y pratique une coupe suivant un grand cercle,

[1] *Mémoires de la Société des lettres, sciences et arts de l'Aveyron*, t. VII, p. 1 à 180.

on voit que les divers types de météorites sont disposés suivant un ordre peu différent de celui que nous avons adopté dans notre énumération. Voici cette coupe

COUCHE SUPERFICIELLE.

VII. Météorites charbonneuses (Orgueil, etc.)	D = 1,9 à 3,0
VI. Météorites alumineuses (Juvinas, etc.)	D = 3,0 à 3,2
V. Météorites péridotiques (Chassigny, etc.). . . .	D = 3,5
IV. Météorites du type commun (Pultusk, etc.). . . .	D = 3,1 à 3,8
III. Météorites de Sierra de Chaco, etc.	D = 6,5 à 7
II. Fers péridotiques (Krasnojarsk, etc.)	D = 7,1 à 7,8
I. Fers proprement dits (Charcas, etc.).	D = 7,0 à 8,0

CENTRE.

Il est tout naturel, si l'on admet un pareil globe, d'en comparer les couches successives avec les couches successives du globe terrestre. Celles-ci ont très-certainement des origines différentes en rapport avec leur position actuelle : les plus superficielles sont d'origine aqueuse ; plus profondément on trouve des couches dues très-probablement à la voie mixte ; au-dessous encore sont les réservoirs des roches éruptives c'est-à-dire, d'origine ignée.

Pour rendre commode la comparaison dont il s'agit, nous pouvons dresser le tableau suivant dont la première colonne est affectée aux météorites et la seconde aux roches terrestres. En face l'une de l'autre sont les matières de densité analogue :

COUCHE SUPERFICIELLE.

VII. Météorites charbonneuses.	?
?	Terrains de sédiment.
?	Granite et gneiss.
VI. Météorites alumineuses.	Laves.
V. Météorite de Chassigny.	Péridot.
IV. Météorites du type commun.	Lherzolithe et roches analogues.
III Météorite de la Sierra de Chaco.	?
II. Météorite de Krasnojarsk.	?
I. Fers météoriques.	?

CENTRE.

Il suffit de jeter un simple coup d'œil sur ce diagramme pour reconnaître d'intéressants rapports entre les deux ordres de roches.

On voit d'abord, dans la coupe terrestre, les terrains de sédiment; or, les météorites n'offrent rien d'analogue. Le granite et le gneiss ne sont pas non plus représentés parmi les roches météoriques. De même on ne trouve pas dans la coupe terrestre de correspondant aux météorites charbonneuses.

Mais voici les ressemblances qui commencent ; les météorites de Stannern, de Juvinas, de Jonzac, etc., d'une part, et certaines laves volcaniques d'autre part, ont entre elles les rapports les plus intimes ; même les laves de la Thjorza, en Islande, peuvent être considérées comme identiques avec les météorites alumineuses.

Nous croyons qu'on verra avec intérêt la comparaison suivante entre l'analyse de la météorite de Stannern, faite par Rammelsberg[1] et l'analyse de la lave de la Thjorza faite par M. Gent[2].

	MÉTÉORITE DE STANNERN.	LAVE DE LA THJORZA.
Silice	48,30	49,60
Alumine	12,65	16,89
Protoxyde de fer	19,32	11,92
Protoxyde de cobalt	»	traces.
Protoxyde de manganèse	0,81	»
Magnésie	6,87	7,56
Chaux	11,27	13,07
Soude	0,62	1,24
Potasse	0,26	0,20
Fer chromé	0,54	»
Protosulfure de fer	traces.	»

Deux échantillons d'une même roche terrestre présentent bien souvent des différences plus grandes de composition.

De même le péridot terrestre est identique avec la météorite de Chassigny.

M. de Hochtetter a même reconnu l'existence à la Nouvelle-Zélande, pendant le voyage scientifique de la frégate *la Novara*, d'une roche à laquelle il a donné le nom de *dunite* et qui consiste en péridot mêlé de petits grains de fer chromé, exactement comme la pierre de Chassigny.

En suivant parallèlement les deux colonnes de notre diagramme, nous voyons arriver, d'une part les météorites du type commun, et de l'autre les roches éruptives magnésiennes dont le type est la lherzolithe. Ici la comparaison n'est plus si facile ; un simple coup d'œil suffit pour montrer qu'il n'y a pas identité ; l'aspect est différent et la composition immédiate est différente. Toutefois les éléments constituants sont les mêmes. Des deux côtés la masse est formée par des silicates magnésiens, renfermant du

[1] *Poggendorff's Annalen*, t. LXXVIII, p. 591.
[2] *Annalen der Chimie und Pharmacie*, t. LXII, p. 13.

fer, du nickel, du phosphore, du soufre, etc. Mais ces corps sont dans les deux gisements à des états bien différents. Dans la roche terrestre le fer, préalablement oxydé, est en combinaison dans le silicate ; au contraire il est, au moins en grande partie, à l'état métallique dans la roche météorique. Il en est de même du nickel. Dans la roche terrestre, le phosphore à l'état d'acide phosphorique entre dans la constitution des phosphates, tandis que, dans les météorites du type commun, il est directement uni aux métaux et forme des phosphures. Comme on le voit, cette différence entre les deux ordres de roches peut être exprimée en peu de mots : elle tient surtout à une proportion différente de l'oxygène. Tandis que dans les roches terrestres tous les corps oxydables sont oxydés ; dans les météorites, au contraire, quelques-uns d'entre eux sont restés libres.

Notre comparaison s'arrête ici, car nous ne connaissons pas de couches terrestres correspondant aux lithosidérites ni aux fers météoriques.

C'est à la suite de comparaisons du genre de celle que nous venons de faire que l'un de nos plus savants géologues, M. Daubrée, de l'Institut, a été amené à introduire la synthèse dans l'étude des météorites[1]. Le globe terrestre offrant des composés analogues aux météorites, est-il possible au moyen de ces composés de reproduire artificiellement ces derniers ? Telle est la question que s'est posée M. Daubrée.

III

PRODUCTION SYNTHÉTIQUE DES MÉTÉORITES.

Il s'est d'abord occupé de l'imitation des fers météoriques.

Il est évident que relativement à ces corps, il n'y avait pas à se préoccuper de leur composition chimique ; il suffit d'introduire dans du fer ordinaire, du nickel, du cobalt, du soufre, du phosphore, etc., dans des proportions convenables, pour qu'il donne à

[1] *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. LXII, 200, 509 et 660. Voyez aussi : *Bulletin de la Société géologique de France*, 2ᵉ série, t. XXIII, p. 391.

l'analyse les mêmes résultats que les fers météoriques. Mais il était extrêmement important de chercher à reproduire la structure des fers extraterrestres, à laquelle est due la production des figures que dessine sur une lame polie l'action d'un acide.

Plusieurs méthodes différentes ont été suivies par l'auteur.

On sait que les figures de Widmanstœtten sont dues, non-seulement à la cristallisation, mais aussi à la non-homogénéité de la masse et à la séparation qui s'y est faite de substances inégalement attaquables par les acides : c'est un véritable phénomène de départ.

Tous les observateurs ne sont pas d'accord quant à la nature des corps auxquels appartient le rôle prépondérant dans cette production des figures. Les uns pensent que ce rôle appartient surtout à un phosphure double de fer et de nickel désigné sous les noms de *schreibersite* ou de *dyslilite* : les autres sont d'avis que les figures sont dessinées par des alliages spéciaux de fer et de nickel dont l'analyse a pu dans certains cas être faite.

Les expériences synthétiques de M. Daubrée paraissent justifier pleinement la première hypothèse, tandis que les recherches analytiques de divers auteurs conduisent nettement à la seconde.

Peut-être nous sera-t-il permis à ce sujet de dire un mot des expériences que nous avons nous-même entreprises sur ce sujet.

Un fait très-remarquable dans les productions des figures de Widmanstœtten par la méthode ordinaire, c'est que, quel que soit l'état de dilution de l'acide employé ou le peu de temps de son action, dès que la figure se dessine elle est complète. Elle ne peut rien gagner, si ce n'est de la netteté, par l'emploi d'un acide plus fort ou par une plus longue durée de l'expérience.

Il en est tout autrement lorsque les acides sont remplacés par la dissolution de sels bien choisis. Déjà dans un travail auquel nous avons pris part, M. Daubrée a fait voir qu'une lame polie de fer météorique précipite le cuivre de sa dissolution, d'abord sous la forme de petites auréoles très-remarquables, qui disparaissent bientôt par suite du cuivrage total de la lame, mais qu'on peut faire apparaître de nouveau par un lavage convenable.

Or, suivant les expériences que nous avons tentées de notre côté, ces auréoles constituent comme le premier temps des figures de Widmanstœtten : ce fait nous a été démontré par l'étude que

nous avons faite de l'action sur le fer météorique de la solution aqueuse du bichlorure de mercure.

La substitution de ce sel au précédent présente de très-nombreux avantages. D'abord, en remplaçant le sulfate par le chlorure, on élimine les perturbations apportées par l'état de passivité de beaucoup de fers météoriques; en second lieu, le mercure précipité sur le fer ne contracte pas d'adhérence avec lui, de sorte qu'il suffit de la plus légère friction pour s'en débarrasser au lieu que le lavage du cuivre métallique est extrêmement long et nécessite l'emploi de corps d'un maniement pénible, tels que l'ammoniaque ou la potasse.

Quand on plonge une lame polie du fer de Charcas, par exemple, dans une dissolution froide et peu concentrée de bichlorure de mercure dans l'eau, on observe presque instantanément la production des auréoles. En lavant l'échantillon on reconnaît que ces auréoles sont dessinées en creux et correspondent par conséquent à un métal plus attaquable, au moins dans les conditions de l'expérience, que le reste de la masse. D'après nos analyses, ces auréoles sont formées d'un alliage contenant 10 équivalents de fer pour 1 de nickel (plessite); elles apparaissent avant l'attaque de certaines parties voisines, cependant plus solubles, à cause sans doute de la position spéciale qu'elles occupent et de l'état électrique qui en résulte pour elle.

Ces figures consistant exclusivement en petites auréoles placées sans ordre apparent, correspondent donc à la période d'attaque de la plessite et constituent le premier temps de la formation des figures complètes.

Si la dissolution mercurique est concentrée, on voit aux auréoles s'ajouter des baguettes qui dessinent des alignements dont l'analogie avec les figures de Widmanstœtten est déjà très-nette. C'est le second temps du développement des figures; il correspond à la période d'attaque d'un alliage de fer et de nickel plus abondant en général que tout autre et qui contient, d'après nos résultats, 14 équivalents de fer pour 1 de nickel : c'est la kamacite.

Enfin, en employant une dissolution saturée et chaude de bichlorure de mercure, le fer de Charcas donne les plus belles figures qu'il soit possible de voir, et ce résultat est d'autant plus remarquable que le fer dont il s'agit ne donne par les acides que des

figures bien inférieures à celles de beaucoup d'autres masses de même origine. C'est le troisième et dernier temps de la production des figures : il répond à la période d'attaque de l'alliage qui constitue les baguettes fines indiquées ci-dessus. Cet alliage qui contient 1 équivalent de fer uni à l'équivalent de nickel, porte le nom de tœnite : en se dissolvant il prend un grain fin identique à celui de la plessite, ce qui rend celle-ci indiscernable dans la figure complète.

Dans tout ceci, comme on voit, il n'est pas question de phosphure. Et voici, pour terminer ce sujet, l'indication de quelques-unes de nos expériences qui nous paraissent toucher la question.

En soumettant de la schreibersite bien pure à l'action de la potasse maintenue en fusion, nous reconnûmes que le phosphure est entièrement décomposé et avec rapidité. Il en résultait que si l'on plongeait une lame polie de fer météorique dans la potasse fondue, les figures, devaient se dessiner en creux dans le cas où elles seraient dues à l'attaque du phosphure. Un grand nombre d'essais tentés de cette manière nous montrèrent que jamais ces figures creuses n'apparaissaient et que l'alliage le plus efficace dans la production des figures est le moins attaquable de tous dans les alcalis comme dans les acides ; de façon que ces deux sortes de réactifs donnent des dessins qui se ressemblent beaucoup.

Cependant les expériences synthétiques montrent, comme on va voir, que les phosphures sont nécessaires à la production de belles figures; il faut en conclure jusqu'à nouvel ordre que le phosphore exerce dans la masse une sorte d'action de présence sur le fer qui l'environne.

Quoi qu'il en soit, les expériences de reproduction artificielle ne pouvant évidemment se faire qu'avec le concours d'une température élevée, il importait avant tout de savoir comment les figures des fers météoriques sont modifiées par le fait de la fusion.

En conséquence, le fer météorique de Caille fut fondu dans une brasque d'alumine ; le refroidissement fut conduit avec lenteur, puis on pratiqua dans la masse une section qui fut polie et soumise à l'action d'un acide : les figures étaient beaucoup moins régulières que celles du même fer pris à l'état naturel.

Ce fait indiquait que les produits d'expériences ne pouvaient jamais présenter absolument les caractères des fers naturels et

donnait la mesure de ce qu'on était en droit de regarder comme un résultant satisfaisant.

M. Daubrée commença par associer le fer doux à chacune des substances principales qui l'accompagne dans les masses météoriques, c'est-à-dire au nickel, au silicium, au soufre et au phosphore.

Dans les trois premiers cas on a obtenu des produits donnant par les acides des dendrites indiquant leur structure éminemment cristalline ; mais on n'observa pas de véritable départ comparable à celui des fers météoriques.

Le résultat fut tout différent lorsqu'on fondit le fer doux avec addition de phosphure de fer dans une proposition qui fut successivement portée de 2 à 10 pour 100. Quand on répète cette expérience, on voit, sur la surface polie qui a subi l'action de l'acide, s'isoler une substance plus brillante et plus résistante dessinant une figure qui rappelle tout à fait celle des fers météoriques ayant subi la fusion.

Un résultat encore meilleur a été obtenu en introduisant du nickel, en même temps que du phosphure de fer, et surtout en opérant sur une masse de 2 kilogrammes. Au milieu de dessins dendritiques d'une régularité très-remarquable et qui paraissent, d'après l'examen qu'en a fait M. Descloizeaux, disposés suivant la forme du dodécaèdre rhomboïdal régulier, on aperçoit une matière brillante isolée et comme repoussée dans les interstices sous une forme réticulée.

Dans une autre série d'expériences, M. Daubrée a réduit par fusion dans un creuset brasqué certaines roches terrestres telles que le péridot, la lherzolithe, l'hypersthène du Labrador, les basaltes, les mélaphyres. Il est arrivé ainsi à produire des fers qui se rapprochent beaucoup des masses météoriques, tant pour la composition que pour la structure.

On n'a pas encore tenté d'expériences spéciales relativement à la reproduction des fers mêlés de silicates et en partie mêlés de péridot, tels que ceux de Krasnojarsk, du désert d'Atacama, etc., ou celui de Rittersgrun dont la structure est si différente.

On n'a pas non plus essayé d'imiter la mésosidérite de la sierra de Chaco qui ne diffère d'ailleurs par aucun caractère essentiel sous le rapport de la structure, des météorites du type commun.

Au contraire, relativement à ces dernières, M. Daubrée a exé-

cuté une longue série d'expériences dont les résultats ont jeté le plus grand jour sur le mode de formation de ces corps.

Suivant ici la marche qui lui avait si bien réussi pour les fers, l'auteur a commencé par examiner ce que devient une météorite du type commun après qu'elle a été soumise à la fusion, et voici à peu près comment il rend compte de ses résultats.

Comme les pierres météoriques nous arrivent toujours recouvertes d'une croûte noire et vitreuse, due à une fusion superficielle opérée dans leur trajet à travers l'atmosphère, on pouvait croire qu'en les fondant dans des creusets on n'obtiendrait pas autre chose que cette même matière vitreuse. Or, l'expérience est venue apprendre qu'il en est tout autrement, et que ces substances possèdent au contraire une aptitude très-prononcée pour la cristallisation.

En effet, si l'on soumet à une température suffisamment élevée les météorites du type commun, la masse après fusion se compose d'un culot et de grenailles métalliques disséminées dans une gangue pierreuse. Celle-ci représente un mélange en proportion variables de péridot (protosilicate de magnésie) et d'enstatite (bisilicate de magnésie). La première espèce présente souvent des formes nettes et mesurables. Ces deux silicates se séparent par une sorte de liquation. En général, le péridot forme à la surface une pellicule mince cristallisée, tandis que l'intérieur se compose de longues aiguilles d'enstatite. Cependant, dans certains cas, les aiguilles dont il s'agit s'étendent à la surface de la masse.

L'existence dans le produit de la fusion des météorites, du péridot et de l'enstatite désignait comme matière première des expériences de reproduction, les roches terrestres caractérisées par la présence de ces deux silicates magnésiens.

On les a choisies, en effet, et les principaux essais ont porté sur la lherzolithe, roche intéressante, observée d'abord dans les Pyrénées, retrouvée ensuite dans le Nassau et dans d'autres localités et dont on doit l'analyse à M. Damour[1]. Cette roche consiste en un mélange de péridot, d'enstatite et de pyroxène auquel se joint souvent le spinelle picotite.

Les roches dont il s'agit ont été d'abord soumises à la fusion simple, c'est-à-dire sans addition d'aucun réactif.

[1] *Bulletin de la Société géologique de France*, t. XIX, p. 415.

A la suite de cette opération, le péridot s'est transformé en une masse verte translucide, recouverte de cristaux de péridot et entièrement cristallisée à l'intérieur, ainsi qu'il résulte de son action sur la lumière polarisée. Sa structure est souvent lamellaire comme celle du péridot des scories et contraste ainsi avec le péridot, granulaire et peu cohérent, que renferment souvent les roches basaltiques. La lherzolithe fond encore plus facilement que le péridot et donne une masse qui reproduit à s'y méprendre la roche naturelle, avec cette différence toutefois que l'on remarque à la surface et dans l'intérieur des aiguilles d'enstatite que l'on ne distinguait pas avant la fusion.

Une seconde série d'expériences a consisté à soumettre les roches en question à la fusion en présence de substances réductrices. On a surtout fait usage de charbon disposé en brasque dans un creuset. Les résultats sont analogues à ceux que donne la fusion simple, avec cette différence que le fer, qui était combiné dans le silicate, se réunit à l'état métallique; il se sépare en grenailles ou reste disséminé dans le silicate non décomposé en grains microscopiques séparables au barreau aimanté.

Comme on voit, ce produit de la réduction et de la fusion des roches péridotiques ressemble beaucoup à celui de la fusion simple des météorites, et l'analogie subsiste non-seulement pour la partie pierreuse, mais aussi pour la partie métallique qui dans les deux cas consiste surtout en fer plus ou moins nickélifère.

Dans le cours de ces expériences, M. Daubrée est arrivé à reproduire plusieurs particularités intimes de structure des météorites, telles que la structure globulaire ou *chondritique*, les surfaces de frottement, etc.

Le charbon n'a pas été seul employé dans la réduction qui nous occupe; l'hydrogène aussi a servi et les résultats ont été analogues aux précédents. La lherzolithe, le pyroxène, etc., soumis au rouge à l'action du courant d'hydrogène abandonnent à l'état de métal le fer qui s'y trouvait sous la forme de silicate de protoxyde.

Malgré le succès qu'il avait obtenu par les méthodes de réduction, l'auteur n'a pas voulu considérer le sujet comme épuisé et il a repris la question par un procédé tout différent. La méthode dont il a fait usage dans une dernière série d'expériences, consiste

à chauffer les corps dominants des météorites du type commun, autres que l'oxygène, c'est-à-dire le fer, le silicium et le magnésium, dans une atmosphère incomplétement oxydante et à en opérer non-seulement le grillage, mais aussi la fusion, c'est-à-dire la scorification.

Les résultats ont été du plus haut intérêt. En soumettant à la température élevée du chalumeau à gaz de M. Schlœsing du siliciure de fer contenu dans une brasque de magnésie, on obtient une imitation parfaite, dans ce qu'elle a de plus essentiel, du produit de fusion simple des météorites du type commun. Le fer se sépare, tant à l'état métallique qu'à l'état de silicate de protoxyde, et du péridot se produit en partie cristallisé. L'imitation à même pu être poussée jusque dans des détails minutieux, en chauffant un mélange formé de silice, de magnésie, de fer nickélifère, de phosphore et de sulfure de fer. Les globules métalliques renferment alors le nickel, le phosphore et le soufre, à l'exclusion de la gangue pierreuse qui n'en a pas retenu, et l'on y trouve même ce phosphure complexe appelé schreibersite qui caractérise les météorites au lieu du phosphure simple introduit dans le mélange.

Il convient de montrer les conséquences de ces différents faits au double point de vue du mode de formation des météorites et du mode de formation du globe terrestre.

Comme le fait remarquer M. Daubrée, les silicates anhydres qui entrent dans la constitution des météorites se sont sans doute formés sous l'influence d'une température élevée. Celle-ci étant probablement inférieure toutefois à la température du chalumeau employé dans les expériences qui précèdent, puisque, d'une part, la partie pierreuse ne possède qu'une cristallisation confuse et à peine agrégée qui contraste avec celle que donne la fusion artificielle ; et puisque, d'autre part, les grains de fer disséminés au milieu de ces silicates ont une forme irrégulièrement tuberculeuse et non globulaire comme s'ils s'étaient constitués à une température inférieure à celle de la fusion complète du fer doux. D'ailleurs il faut bien remarquer que cette chaleur originelle n'existe plus quand ces masses pénètrent dans notre atmosphère. En effet, les météorites charbonneuses renferment des corps qui sont décomposables par une faible élévation de température, et on a constaté que la pierre tombée à Dhurmsala, dans l'Inde, le 14 juillet 1860,

était si froide à l'intérieur qu'on n'en pouvait toucher les fragments sans douleur.

Relativement à la constitution chimique des corps d'où proviennent les météorites, les expériences que nous avons décrites peuvent également conduire à supposer que les météorites du type commun se sont formées, ou bien par la réduction de roches silicatées basiques, ou bien par une oxydation partielle de siliciures métalliques.

Cette dernière hypothèse paraît à la fois la plus simple et la plus concluante : supposons que le siliciure et les métaux des météorites n'aient pas toujours été combinés à l'oxygène, comme ils le sont aujourd'hui pour la plus grande partie. Si, par suite d'un refroidissement ou par une autre cause, l'oxygène vient à agir subitement sur ces corps, il attaquera d'abord ceux pour lesquels il a le plus d'affinité, et, s'il n'est pas assez abondant pour oxyder le tout, ou s'il n'agit pas pendant un temps suffisant, il laissera un résidu métallique composé des corps les moins oxydables. Un produit ayant la composition et la constitution des météorites du type commun se formera donc.

IV

CONSÉQUENCES POUR LE MODE DE FORMATION DU GLOBE TERRESTRE.

Ces considérations s'appliquent aussi au mode de formation du globe terrestre.

En effet reprenons le diagramme qui nous occupait tout à l'heure. Nous avons vu que les roches éruptives les plus profondes que nous connaissons, c'est-à-dire la lherzolithe et les roches analogues, sont tout à fait comparables aux pierres du type commun.

N'est-il pas infiniment probable que les couches plus centrales que les couches de lherzolithe sont semblables d'abord aux météorites riches en fer, comme celles de la sierra de Chaco, puis aux fers à péridot comme celui de Krasnojarsk, puis enfin aux fers météoriques proprement dits comme celui de Charcas?

Diverses considérations portent à penser que telle est en effet la constitution géologique des parties centrales du globe qui nous

est ainsi dévoilée (résultat admirable) par l'étude de masses provenant des profondeurs du ciel.

C'est de faits analogues que parlait Chladni, quand il expliquait les phénomènes du magnétisme terrestre dus, selon lui, à la masse centrale de fer métallique renfermé dans notre globe. Sans doute cette manière de voir soulève un certain nombre de difficultés, mais il faut remarquer que la densité de la terre (5,5), si notablement supérieure à celle que permettraient de lui assigner les roches que nous connaissons, peut être invoquée en sa faveur; pour un globe dont le centre serait de fer massif, cette forte densité serait parfaitement naturelle.

Sans que le fait soit encore absolument certain, il paraît d'ailleurs très-probable que certaines roches terrestres profondes contiennent réellement du fer métallique. En effet, M. Andrews a publié en 1852 une méthode au moyen de laquelle il a reconnu l'existence du fer libre dans les roches volcaniques de la Chaussée des Géants et de plusieurs autres localités[1]. Plus tard, par un procédé différent, M. Sterry Hunt a trouvé du fer libre dans certaines roches des États-Unis. M. de Engelhard assure de son côté que le platine est parfois accompagné de fer natif, provenant évidemment de très-grandes profondeurs ; et l'on sait que, grâce aux 9 ou 10 centièmes de fer auquel il est allié, le platine de l'Oural possède souvent des propriétés très-nettement magnétiques.

En résumé, si comme ces divers faits semblent nous y autoriser, nous admettons que l'intérieur du globe terrestre est analogue au globe idéal de météorites dont nous parlions tout à l'heure, rien n'est plus légitime que de comparer la terre tout entière aux produits des expériences synthétiques ; d'en faire par conséquent le résultat d'une immense scorification, ou d'une *coupellation naturelle*, comme l'a si heureusement dit M. Élie de Beaumont.

Les éléments les plus électro-négatifs se trouvaient donc en présence au commencement, soit à l'état de liberté, soit simplement alliés entre eux. L'oxygène survenant, la scorification eut lieu.

Pour expliquer ce fait on peut admettre sans doute que l'oxygène, originairement mêlé aux autres corps, n'agissait pas sur eux par suite de l'élévation excessive de la température[2], qui

[1] *Poggendorff's Annalen*, t. LXXXVIII, p. 321.
[2] *Annuaire* de 1864, p. 20.

non-seulement opposa un obstacle aux combinaisons, mais détermine même la décomposition ainsi que le montrent les beaux travaux de M. Henri Sainte-Claire Deville sur la dissociation. Quoi qu'il en soit, la scorification a probablement eu lieu, comme dans les expériences décrites plus haut, il a dû se former à la partie externe de la masse une croûte silicatée constituée surtout par du péridot et par des minéraux pyroxéniques tels que l'enstatite. L'hydrogène étant brûlé a donné naissance à l'eau. Cette eau venant baigner les roches primitives a dû, concurremment avec la pression et la température énorme d'alors, leur faire subir des actions analogues à celle qu'on produit dans l'eau surchauffée, et c'est ainsi peut-être qu'ont pris naissance les laves, puis les roches feldspathiques tels que le granit et le gneiss[1]. C'est par des procédés tout différents que les terrains stratifiés ont alors pu se déposer.

Cette manière de voir, que l'on trouvera sans doute fort rationnelle, attribue au péridot une importance qu'on n'est pas habitué à lui voir prendre.

En effet, M. Daubrée a montré, par un très-grand nombre de considérations, que le péridot qui, dans l'hypothèse pécédente, constitue la *scorie universelle*, joue dans l'économie de notre globe un rôle de premier ordre. Ce minéral existe certainement d'une façon normale dans les profondeurs, puisque les basaltes des régions les plus distantes en ont apporté des fragments restés souvent anguleux et que l'on dirait arrachés à une masse préexistante. Dans un très-grand nombre de roches pyroxéniques du Canada, des Pyrénées (lherzolithe) de la Nouvelle-Zélande (dunite), du Nassau, de la Suède, etc., etc., le péridot existe en très-fortes proportions et d'autres roches extrêmement importantes, tels que les serpentines, paraissent n'être que des altérations des roches de péridot. « On est donc amené à reconnaître, dit M. Daubrée, que le rôle de ces roches de péridot, si restreint à la surface de la terre, est sans doute prédominant à une certaine profondeur. Son importance s'étendrait aussi bien à notre globe qu'au reste du système planétaire, autant du moins qu'on peut juger de ce dernier par les échantillons qui nous en arrivent ; les roches à bases de péridot méritent donc de prendre dorénavant

[1] *Annuaire* de 1866, p. 151.

un rang particulier et considérable dans la classification générale de lithologie, où, en leur annexant la serpentine, on pourrait les comprendre sous le nom de *Famille péridotique* ou de *Roches cosmiques.* »

STANISLAS MEUNIER.

V

BIBLIOGRAPHIE.

Revue de géologie pour les années 1865 *et* 1866, par MM. Delesse et de Lapparent, ingénieurs des mines. Tome V. Dunod. — A Leymerie. — *Cours de minéralogie.* Masson. — *Le monde sous-marin*, par Zurcher et Margollé. 1 vol. in-18, Hetzel.

Tous les savants savent combien sont pénibles les recherches bibliographiques dans les recueils français et étrangers que doit faire tout auteur consciencieux qui, suivant l'expression de Fresnel, « ne veut pas enfoncer des portes ouvertes, » ou, en d'autres termes, qui ne veut pas refaire ce que d'autres ont fait avant lui ; c'est donc un grand service à rendre aux chercheurs que de résumer dans un seul ouvrage tous les travaux publiés dans une des branches des connaissances humaines ; c'est ce que font pour la chimie les rédacteurs du *Bulletin* à la Société chimique depuis dix ans environ ; c'est ce que font également pour la géologie MM. Delesse et de Lapparent. Chaque question particulière est envisagée, autant que possible, dans son entier ; les travaux des divers auteurs y sont rattachés les uns aux autres et les controverses présentées de manière qu'on en puisse saisir tous les incidents.

Le volume de 1865, comme les précédents, est divisé en quatre parties : dans les *préliminaires* sont résumés les faits relatifs

[1] 2 vol. in-8 (Paris, Victor Masson, et Toulouse, E. Privat, éditeurs).

à la géologie générale ; on y remarquera l'exposé des travaux de MM. C.-S.-C. Deville et Fouqué, sur les fumeroles des volcans, et ceux de M. Daubrée, sur les météorites. La seconde partie traite de la lithologie, elle est l'œuvre particulière de M. Delesse ; M. de Lapparent, au contraire, a résumé les travaux publiés sur les terrains ; enfin, les descriptions géologiques qui forment la quatrième partie sont l'œuvre commune de ces deux éminents géologues.

Près d'un siècle s'est écoulé depuis que Werner a donné à la minéralogie la place qu'elle occupe aujourd'hui dans la série des connaissances humaines. Depuis le professeur de Freyberg, les plus illustres savants ont, par leurs découvertes, donné successivement à cette science des formes particulières : Haüy a fait longtemps prédominer, dans la classification des minéraux, la recherche des caractères géométriques extérieurs ; plus tard, l'autorité du nom et des travaux de Berzelius a fait prévaloir l'étude chimique des espèces minérales, et la voie tracée par cet illustre maître est encore celle que l'on suit le plus volontiers.

Plusieurs savants s'efforcent cependant de rendre aux études minéralogiques un caractère plus accentué au point de vue de l'histoire naturelle, en accordant à la structure physique des corps une importance plus grande. Revenir aux traditions wernériennes, sans rejeter les notions nouvellement acquises, appliquer l'éclectisme en matière de science, tel a été le but qu'a voulu atteindre M. Leymerie dans l'ouvrage dont il nous offrait, dès 1857, la première édition. La seconde, parue l'an dernier, est une preuve du succès qui a accueilli cet essai : le premier volume est consacré à la cristallographie, ainsi qu'aux caractères généraux des corps dont le second donne la classification et l'étude détaillée. Dans cette étude, c'est la large place laissée à la partie descriptive qui affirme plus particulièrement le but de l'auteur.

Nos deux excellents collaborateurs, MM. Zurcher et Margollé, ont publié cette année encore, un nouveau volume sur la physique du globe ; ils essayent parfois de s'éloigner de la mer, mais ils y reviennent bientôt, ils ont pour elle le double amour du marin et du naturaliste et ils ne lui restent pas longtemps infidèles. Dans *le Monde sous-marin*, ils nous décrivent successivement, les profondeurs de l'Océan, que l'un d'eux avait étudié dans ce recueil même, il y a quelques années, ils suivent les courants de

la mer, puis ils étudient ses richesses ; les perles, le corail, les poissons, la pêche et la culture de la mer les occupent tour à tour ; ils changent ensuite de sujet et terminent leur ouvrage par l'étude de la télégraphie sous-marine ; et par le résumé des traditions que nous ont laissé les anciens sur l'existence de l'Atlantique. D'une lecture facile, agréable, le *monde sous-marin* tiendra une excellente place dans la collection déjà étendue des œuvres de nos deux amis de Toulon, on y retrouvera ce souffle poétique, cet amour de bien, cette honnêteté de cœur qui donnent tant de charme à leurs œuvres.

P.-P. D.

SCIENCES NATURELLES

I

LA VÉGÉTATION DANS L'OBSCURITÉ.

Sous l'influence de la lumière, la plante décompose l'acide carbonique et émet de l'oxygène ; dans l'obscurité au contraire, loin d'agir comme appareil de réduction, elle consomme de l'oxygène à la façon d'un animal, et dégage de l'acide carbonique. Tel est, résumé dans ce qu'il a de plus saillant, ce phénomène curieux qui depuis un siècle exerce la sagacité des naturalistes, et que les travaux qu'ils ont accumulés, si nombreux qu'ils soient, n'ont pu encore explorer dans tous ses détails.

Si nous savons, en effet, aujourd'hui que l'acide carbonique pur n'est pas décomposé par les feuilles, mais qu'il doit être dilué ou soumis à une faible pression pour que la décomposition ait lieu, que la matière verte seule exerce cette action, et que les feuilles rouges ne décomposent l'acide carbonique que parce qu'elles renferment cette matière verte, dont la teinte est plus ou moins dissimulée; si nous savons encore que le volume d'oxygène mis en liberté est égal à celui de l'acide carbonique disparu, que l'oxyde de carbone n'est pas décomposé par les feuilles, tellement qu'il semble probable que l'oxygène recueilli provient non-seulement de l'acide carbonique, mais encore de l'eau décomposée également, en oxygène et en hydrogène, qui, soudé à l'oxyde de carbone, constituerait un isomère du glucose, si abondant dans l'organisme végétal au printemps; si nous savons que la partie lisse de la feuille, l'endroit, décompose mieux l'acide carbonique que l'en-

vers [1], que les rayons lumineux enfin n'ont pas tous la même énergie et que les rayons verts et bleus qui agissent si vivement sur les réactifs des photographes sont incapables d'exciter la décomposition de l'acide carbonique par la végétation ; si nous avons ainsi des connaissances nombreuses sur cette question capitale, nous ignorons encore l'essence même du phénomène, et jusqu'à présent il a été impossible de souder l'oxyde du carbone à l'hydrogène pour reproduire un des composés isomères du glucose qui semble prendre naissance par l'union de ces deux gaz dans la cellule végétale.

Nos connaissances sur les phénomènes qui se produisent dans la végétation, quand elle est soustraite à l'action excitatrice des rayons solaires, sont encore plus incomplètes, mais des observations curieuses, publiées dans ces dernières années, par MM. Boussingault, Duchartre et Van Thieghem nous ont conduit à traiter brièvement ce sujet dont nous nous sommes occupés nous-même à différentes reprises.

[1] *Annales de chimie et de physique*, 4e série, 1868. Voyez aussi *Comptes rendus*, tome LXVII, p. 520, 1868, l'idée très-ingénieuse de M. Barthélemy sur les causes d'absorption de l'acide carbonique de l'air. Ce naturaliste remarque avec raison qu'on n'a pas encore expliqué nettement comment l'acide carbonique, si faiblement répandu dans l'atmosphère, pénètre cependant dans les feuilles en quantité assez considérable pour que le végétal puisse y trouver la matière première de tous les tissus, et il invoque pour le faire comprendre la remarquable *diffusion colloïdale* de cette matière. M. Graham a montré que la vitesse de diffusion de l'azote au travers d'une membrane analogue au caoutchouc auquel M. Barthélemy compare la cuticule étant représentée par 1, celle de l'acide carbonique est représentée par 13,5 ; on sait qu'au contraire les gaz passent au travers de membranes poreuses avec une vitesse qui diminue à mesure qu'ils sont plus denses, nous avons vu également plus haut [1] que cette vitesse est en raison inverse de la racine carrée de la densité. On conçoit donc que l'acide carbonique pénètre moins bien au travers de l'*envers* de la feuille, surface poreuse, percée de stomates, qu'au travers de la cuticule qui couvre l'endroit et que M. Barthélemy considère comme ayant plutôt une structure colloïdale, on trouve enfin dans ces considérations ingénieuses l'explication du fait observé par M. Boussingault, à savoir qu'en général l'envers des feuilles dégage moins d'oxygène que l'endroit [2].

[1] *Chimie*. — Occlusion et pénétration des gaz, page 113.
[2] *Annales de chimie et de physique*. 4e série. Tome XIII.

I

Des plantes aquatiques dans l'obscurité. — Expériences de 1864; observation faite à l'étang de Grignon. — Persistance de l'action excitatrice de la lumière après que les plantes sont plongées dans l'obscurité. — Emmagasinement de la lumière.

Quand on plonge une plante terrestre dans l'obscurité et qu'on recueille les gaz qu'elle émet, on reconnaît qu'ils renferment une proportion notable d'acide carbonique, mais on n'en saurait conclure nettement que la plante vit à la façon d'un animal et brûle ses propres tissus, car rien ne démontre qu'elle ne laisse pas tout simplement filtrer les gaz qu'elle puise dans le sol avec l'eau qu'absorbent ses racines; on sait, en effet, que l'air confiné dans la terre arable renferme des proportions notables d'acide carbonique, mais il en est autrement quand on opère avec des plantes aquatiques, si on les place, en effet, pendant quelque temps, dans l'obscurité ou même à la lumière diffuse, on ne tarde pas à reconnaître qu'elle périsse après avoir absorbé, jusqu'à la dernière bulle, tout l'oxygène qui se trouvait en dissolution dans l'eau. Nous avons observé ce fait avec la plus grande netteté en 1864 [1], et il nous a été donné de le reconnaître de nouveau cette année sur une bien plus grande échelle, à l'école de Grignon [2].

Le domaine de Grignon est situé sur les deux versants d'une vallée dont le fond est occupé par un étang d'une certaine étendue. Dans cette eau végètent plusieurs plantes marécageuses constamment submergées, telles que le *Potamogeton pectinatum*, le *ceratophillum submersum*, etc.; au mois de juillet, il s'y est développé en outre une telle quantité de la petite plante désignée vulgairement sous le nom de *lentilles d'eau*, que toute la surface de l'étang en était absolument couverte ; la plante formait un réseau assez résistant pour que de petits oiseaux pussent y marcher. Bientôt une forte odeur d'hydrogène sulfuré se répandit autour de l'étang et on vit arriver à la surface une grande quantité de poissons morts. On estime qu'on a retiré de l'étang plusieurs centaines de kilogrammes de poissons de dimensions variées.

[1] *Bulletin de la Société chimique*, tome 2, nouvelle série, p. 136; 1866.
[2] *Comptes rendus de l'Académie*, tome LXVII, 1868, p. 178.

Il n'était pas possible d'attribuer à un empoisonnement par l'hydrogène sulfuré la mort de ces animaux, car les oiseaux d'eau n'auraient pas échappé à l'action de ce gaz, et l'étang restait garni de cygnes, de canards et de poules d'eau ; mais je pensai que la lentille d'eau avait formé à la surface de l'étang une couverture assez épaisse pour empêcher l'accès des rayons lumineux, et que, dès lors, les plantes submergées, plongées dans l'obscurité, avaient dû absorber l'oxygène dissous, le transformer en acide carbonique, que les poissons enfin privés d'oxygène avaient dû périr asphyxiés.

Pour m'en assurer, je prélevai quelques échantillons de l'eau de l'étang, et à l'aide d'une ébullition prolongée, les gaz dissous furent extraits et analysés; on ne trouva que de l'azote et de l'acide carbonique ; il n'y avait pas une trace d'oxygène [1].

Il y a eu là un remarquable exemple de cette concurrence vitale à laquelle Darwin fait avec juste raison jouer un rôle si important dans la distribution des espèces. Dans l'obscurité où ils ont été plongés, animaux et plantes se sont trouvés n'avoir à consommer qu'une quantité limitée d'oxygène, bientôt celui-ci a fait défaut, et les animaux moins bien organisés pour résister à l'asphyxie ont péri rapidement.

Le dépeuplement des étangs qui peut suivre le développement exagéré de la lentille d'eau sera facilement évité, si on enlève celle-ci de façon à permettre un libre accès de la lumière; ce ne sont pas les plantes submergées qui sont à craindre, mais bien celles qui couvrent la surface.

Il ne faudrait pas croire cependant que les plantes marécageuses perdent la faculté de décomposer l'acide carbonique aussitôt qu'elles sont plongées dans l'obscurité, elles jouissent, au contraire, de la propriété extrêmement curieuse de conserver cette action décomposante pendant plusieurs heures après qu'elles ont été plongées dans l'obscurité.

D'après M. Van Tieghem, à qui on doit les curieuses observations que nous allons décrire, la lumière diffuse de l'atmosphère est impuissante à provoquer chez les plantes aquatiques une ré-

[1] Pour recueillir l'eau de l'étang, j'ai employé des flacons remplis d'azote, ainsi que l'a conseillé depuis plusieurs années M. Peligot dans ses recherches sur les eaux.

duction sensible d'acide carbonique; c'est là un fait curieux et tout à fait différent de celui qu'a observé M. Boussingault pour les plantes aériennes, qui ont parfois décomposé, à la lumière diffuse, une quantité d'acide carbonique égale à celle qu'elles ont produite sous l'influence directe du soleil. Quand la plante submergée, dans une dissolution d'acide carbonique, est au contraire exposée au soleil, le dégagement d'oxygène se fait facilement ; la réduction est même assez rapide pour qu'elle puisse être montrée dans un cours ; et si, comme je l'ai fait souvent à Grignon et à Chaptal, on a soin d'agiter le gaz dégagé avec un fragment de potasse, on l'obtient assez riche en oxygène pour allumer une allumette. Quand ce dégagement est en pleine activité, la plante est soustraite à l'action directe des rayons lumineux et ramenée à la lumière diffuse à côté d'un flacon renfermant une autre Elodea qui ne dégage aucun gaz, et cependant l'oxygène continue à se dégager de la plante récemment insolée. Dans une de ses expériences, M. Van Tieghem[1], avait soustrait l'Elodea à la lumière directe à 11 h. 30 ; à 2 heures le courant de gaz continuait avec la même vitesse, à 5 heures son activité s'était à peine affaiblie, les bulles se succèdaient encore en chapelets serrés ; à 5 h. 30 on opérait, en février, le jour tomba sans que le dégagement de gaz en fut affecté ; à 6 heures les courants de gaz persistaient visiblement ralentis ; à 7 heures ils dégagaient encore de quinze à vingt bulles par minute ; à 8 h. 30 enfin tout était terminé. Le dégagement de gaz n'a donc cessé que neuf heures après la fin de l'insolation. Pendant ce temps aucune bulle ne s'est montrée dans le bocal placé comme témoin à côté du premier. — Cette expérience répétée plusieurs fois a toujours donné les mêmes résultats, et on peut en conclure que la lumière diffuse de l'atmosphère, incapable de provoquer par elle-même la décomposition de l'acide carbonique dans les plantes submergées, peut cependant prolonger le phénomène respiratoire pendant un temps considérable, une fois qu'il a été commencé par la lumière solaire directe.

En effet, bien que dans l'obscurité complète, le dégagement continue encore pendant quelque temps, il est loin de se prolonger aussi longtemps que sous l'influence de la lumière diffuse.

[1] *Comptes rendus*. Tome LXV, p. 867. — 1867.

Dans une de ses expériences, M. Van Tieghem a remarqué, en effet, qu'après trois heures d'obscurité, l'Elodea dégageait encore une quantité sensible d'oxygène, mais que toute apparition de gaz avait cessé après quatre heures; quand le courant d'oxygène a été singulièrement affaibli par un séjour de quelques heures dans l'obscurité, puisqu'on remet la plante à la lumière diffuse, on voit aussitôt le courant reprendre une nouvelle énergie, et on peut légitimement en conclure que la lumière diffuse possède réellement un pouvoir continuateur remarquable, encore qu'elle soit trop pauvre en radiations actives pour provoquer le phénomène.

La force vive de la lumière solaire peut donc se fixer, s'emmagasiner dans les plantes vivantes pour agir après coup dans l'obscurité complète et s'épuiser peu à peu en se transformant en un travail chimique équivalent, comme elle se fixe et s'emmagasine dans les sulfures phosphorescents qu'a si bien étudiés M. Ed. Becquerel [1], ou, comme elle se fixe sur du papier, de l'amidon ou de la porcelaine pour impressionner les sels d'argent, ainsi que l'a montré M. Niepce de Saint-Victor. La propriété dont se montrent revêtues les cellules vertes des plantes aquatiques n'est donc

[1] Voyez *l'Annuaire scientifique* de 1862, p. 60; on y a décrit les phénomènes de phosphorescence si bien étudiés par M. Ed. Becquerel, mais les expériences curieuses de M. Niepce de Saint-Victor, qui datent de 1857 et 1858, n'ont pas encore été rappelées dans ce recueil, et nous croyons devoir mettre les points les plus saillants sous les yeux du lecteur. S'il est bien démontré que la chaleur est capable de s'emmagasiner dans un corps, de s'y conserver pendant un temps plus ou moins prolongé, il semblait qu'il n'en fut pas de même de la lumière et qu'un corps, après avoir été exposé à l'action de la lumière, n'en conservait aucune empreinte. L'expérience suivante démontre clairement le contraire: On prend un tube de métal, de fer blanc, par exemple, ou de toute autre substance opaque, fermé à l'une de ses extrémités et tapissé, à l'intérieur, de papier ou de carton blanc; on l'expose, l'ouverture en avant, aux rayons solaires directs pendant une heure environ; après l'insolation, on applique cette même ouverture contre une feuille de papier sensible, et l'on constate, après une heure, que la circonférence du tube a laissé son image. Il y a plus: une gravure sur papier de Chine, interposée entre le tube et le papier sensible se trouvera elle-même reproduite [1].

Si l'on ferme le tube hermétiquement aussitôt qu'on a cessé de l'exposer à la lumière, il conservera pendant un temps indéfini la faculté de radiation que l'insolation lui a communiquée, et l'on verra cette faculté s'exercer

[1] *Comptes rendus*, tome XLV, 1857, pag. 811.

pas isolée, ajoute M. Van Tighem; « elle n'est qu'un cas particulier de la propriété générale que possède la matière de fixer dans sa masse, sous une forme inconnue, une partie des vibrations incidentes et de les conserver en les transformant pour les émettre plus tard, soit sous forme de radiations moins réfrangibles, soit sous forme de travail chimique ou mécanique équivalent. Le phénomène étudié est donc une véritable *phosphorescence,* » de même qu'un sulfure soumis à l'action de la lumière reste lumineux pendant un certain temps après qu'il est revenu dans l'obscurité, et emmagasine ainsi les vibrations pour ne les dépenser que peu à peu, de même les parties vertes des plantes emmagasinent les radiations lumineuses qui pendant plusieurs heures, continuent d'exercer leur influence rédactrice.

II

Développement d'un végétal dans l'obscurité. — Germination. — Transformation des principes immédiats. — Expériences de M. Boussingault. — Développement des pommes de terre à l'abri de la lumière. — Observations de M. Duchartre sur la végétation forcée.

Quand une graine est soumise à l'action de l'humidité et d'une douce chaleur, elle germe, et le jeune végétal se développe sans

et se manifester par l'impression lorsqu'on appliquera ce tube sur le papier sensible après en avoir enlevé le couvercle qui le fermait.

J'expose à la lumière solaire, dit encore M. Niepce de Saint-Victor [1], une feuille de carton très-fortement imprégnée de deux ou trois couches d'une solution tartrique ou de sel d'urane; après l'insolation je tapisse avec le carton l'intérieur d'un tube de fer-blanc assez long et d'un diamètre étroit; je ferme le tube hermétiquement et je constate, après un très-long laps de temps, comme le premier jour, que le carton impressionne le papier sensible préparé au chlorure d'argent. A la température de l'air ambiant, il faut vingt-quatre heures pour obtenir le maximum d'effet; mais si, après avoir projeté dans le tube quelques gouttes d'eau pour humecter légèrement la feuille de carton, on le referme, puis qu'on l'expose à une température de 40 et 50°, que l'on ouvre enfin, et qu'on applique son embouchure sur la feuille de papier sensible, il suffira de quelques minutes pour obtenir une image circulaire de l'embouchure aussi vigoureuse que si le papier sensible avait été exposé au soleil. L'expérience ne réussit qu'une fois, c'est-à-dire, que la lumière semble s'être échappée tout entière du carton, et que, pour obtenir une seconde image, il faudra recourir à une seconde insolation.

[1] *Comptes rendus*, 1858, tome XLVI.

que l'action excitatrice de la lumière lui soit nécessaire. Il vit alors sur la matière végétale accumulée dans la graine elle-même, et si on le maintient constamment à l'abri de la lumière, son développement continue tant qu'il trouve dans cette graine de la matière végétale, propre à lui fournir les matériaux de ses tissus ; constamment au reste, pendant cette végétation, la plante émet de l'acide carbonique ; elle est blanche ou légèrement jaunâtre, seule, elle s'allonge démesurément et bientôt est incapable de rester droite, elle fléchit et tombe sur le sol. Le poids des plantes quand on met fin à l'expérience est toujours plus faible que le poids des graines dont elles proviennent, et il est curieux de suivre la transformation des principes immédiats de la graine quand ils pénètrent dans la jeune plante, incapable elle-même d'élaborer la matière végétale.

Nous avons, sur ce sujet, des recherches récentes dignes d'intérêt ; en 1865 M. G. Fleury a inséré aux *Annales de chimie* (4e série, tome IV, page 38) un mémoire important sur la germination, et, tout récemment, M. Boussingault a donné au même recueil [1] un travail sur la végétation dans l'obscurité.

M. Fleury a fixé son attention sur la germination des graines oléagineuses, mais comme il a arrêté ses expériences avant que les parties vertes n'aient été développées, on peut considérer que les transformations qu'il a observées sont semblables à celles qui apparaîtraient dans l'obscurité.

En procédant à l'analyse des graines germées, on remarque que les matières grasses ont disparu en plus grande quantité que tous les autres principes ; elles ont perdu du carbone et de l'hydrogène, et ont ainsi donné naissance à du sucre et à de la dextrine, qui bientôt se sont transformés à leur tour en cellulose ; on remarque en outre que de l'oxygène s'est fixé sur ces matières grasses pour produire quelques-uns de ces acides qui naissent de leur oxydation.

Quand on fait développer dans l'obscurité des graines amylacées au lieu d'opérer sur des graines oléagineuses et qu'on prolonge l'expérience jusqu'au moment où la jeune plante, ayant épuisé tous les matériaux de la graine, se flétrit et périt, on observe encore une transformation de l'amidon en cellulose, mais la com-

[1] 4e série, tome XIII, 1868, p. 219.

bustion ne s'arrête pas là ; l'oxygène porte aussi son action sur l'albumine végétale qui est bientôt transformée en asparagine.

Cette dernière transformation est tout à fait digne d'attention, car elle établit un parallélisme complet entre l'animal et la plante quand celle-ci, privée de l'action excitatrice de la lumière, perd la propriété de réduire l'acide carbonique de l'air. « Une plante, mise à l'abri de la lumière se comporte, à beaucoup d'égards, comme certains animaux d'un ordre inférieur, tels que les zoophytes ne possédant aucun organe spécial pour l'exercice de la respiration. La combustion a lieu dans le tissu cellulaire par l'intermédiaire de l'eau, en produisant un faible dégagement de chaleur. Cette plante subsiste tant qu'elle a du sucre, de l'albumine, de la graisse, des phosphates à consommer, puis, quand ces matériaux contenus dans le périsperme et les cotylédones sont épuisés, elle meurt d'inanition... « L'animal de l'organisation la plus simple n'émet pas seulement, en respirant de la chaleur, de l'eau, de l'acide carbonique, une partie de l'albumine qu'il consomme est modifiée par la combustion respiratoire d'une plante vivant à l'obscurité ; une semblable modification de l'albumine ne pouvait être aussi manifeste, par la raison que les végétaux sont dépourvus d'organes excréteurs : mais dans les sucs remplissant les cellules, on trouve un principe immédiat cristallin, l'asparagine, qui est un amide comme l'urée, se transformant aussi facilement en aspartate d'ammoniaque que l'urée se transforme en carbonate d'ammoniaque. »

Les faits précédents établis par M. Boussingault démontrent clairement que la matière végétale ne peut prendre naissance qu'à la lumière ; dans l'obscurité les principes immédiats se transforment les uns dans les autres, mais la plante n'augmente pas de poids. — Il semble cependant au premier abord qu'on rencontre à la règle précédente quelques exceptions, et qu'elle ne soit pas aussi absolue qu'elle le paraît d'après les faits que nous venons de rappeler.

Les maraîchers savent, par exemple, produire, dès l'hiver, des pommes de terre nouvelles avec des tubercules plus anciens ; et on pouvait croire, qu'il y avait là une véritable formation de matière végétale à l'abri de la lumière. Nous avions plusieurs fois agité cette question, M. Decaisne et moi, et nous résolûmes d'examiner comment les choses se passaient ; plu-

sieurs lots de pommes de terre (de la variété Marjolin) furent plantés dans un des carrés du Muséum après avoir été pesés, au mois de janvier dernier, et on fit la récolte au mois de mars, avant que les pommes de terre n'eussent donné de fanes, on trouva, en effet, que les pommes de terre n'étaient pas restées inactives, toutes avaient émis des filets qui, se renflant par place donnaient de petits tubercules ; mais, en pesant les lots de pommes de terre, on trouva une perte de poids considérable ; les jeunes tubercules s'étaient formés aux dépens des anciens ; comme dans les expériences précédentes, les tissus de la jeune plante avaient emprunté leurs matériaux aux téguments de la graine ; mais sous terre, comme dans l'air, la perte de poids était évidente.

Il reste cependant encore un point non étudié aussi complétement qu'il le faudrait et qui est relatif aux plantes cryptogames, particulièrement aux champignons qui, comme chacun sait, se développent parfaitement dans l'obscurité ; on sait notamment que les champignons de couche sont habituellement cultivés dans des caves ; il est vraisemblable que dans ce cas le champignon peut absorber les principes solubles du fumier et qu'il n'y a encore là que transformation de principes immédiats, sans création réelle de matière.

On attribue souvent à l'absence de lumière la décoloration de certaines fleurs qui, colorées lorsqu'elles se développent à l'air libre, deviennent blanches, au contraire, lorsque les plantes qui les portent sont maintenues à l'obscurité ; toutefois des observations intéressantes, dues à M. Duchartre, sont venues profondément modifier nos idées sur ce sujet, en nous montrant qu'une chaleur modérée, mais continue, peut déterminer la décoloration complète des végétaux, sans que toutefois nous ayons encore sur la cause immédiate de la décoloration aucune idée précise.

On sait qu'il se fait en hiver à Paris un commerce important de lilas blanc, celui-ci était obtenu généralement, il y a quelques années, en pratiquant dans le sol une fosse profonde qui, bien garnie de fumier, était ensuite couverte de touffes de lilas commun coloré, fraîchement arrachées en motte. On fermait ensuite la fosse au moyen de châssis vitrés qu'on couvrait de paillassons, et on en garnissait tout le tour de fumier. Dans le *réchaud* ainsi disposé, le lilas développait dans l'espace de dix-sept à vingt jours

des fleurs remarquablement blanches. — Un horticulteur parisien a consacré une serre à la culture des lilas blancs, elle est médiocrement éclairée, et de puissants thermosyphons y entretiennent une température constante de 30° à 35°. Les touffes de lilas, immédiatement après avoir été arrachées, sont plantées dans le sol qui forme le fond de ces serres, bien que le temps leur manque pour s'y enraciner, et dans le court espace de quatorze jours, en moyenne, elles développent de belles panicules de fleurs blanches, égales en ampleur à celles que le printemps fait épanouir, dans les conditions normales de la végétation.

Si on ne connaissait que ces deux modes d'opérer, on pourrait attribuer la décoloration du lilas à la haute température que supportent les plantes, ou à l'obscurité plus ou moins complète dans laquelle elles sont plongées, mais quelques expériences faites par M. Duchartre à Rocquencourt près Versailles, dans les serres de M. Furtado, montrent que le lilas se décolore encore dans des conditions toutes différentes.

Habituellement, pour obtenir le lilas blanc, on plantait plus ou moins obliquement des touffes dans une fosse placée au-dessous d'une table dans une serre tempérée, dont la température ne dépassait pas 15° ; mais le lilas donna encore des fleurs blanches quand on le fit développer dans la serre non plus sous la tablette, mais à la lumière directe du soleil, ce qui démontrait que l'obscurité n'était pas nécessaire à la décoloration ; le séjour dans la serre a toujours, au contraire, déterminé la production des fleurs blanches ; en effet, un pied de lilas, laissé en pleine terre et à l'air libre et portant déjà des boutons nettement colorés en violet, a été transporté dans la serre et laissé exposé à la lumière, il a donné des fleurs blanches ; enfin on a fait passer au travers d'une des ouvertures de la serre, une branche de lilas qui s'élevait en dehors de près d'un mètre ; les fleurs qui se sont développées ainsi à l'air libre étaient violettes, tandis que celles, au contraire, qui ont apparu sur le même pied, mais sur les branches maintenues à l'intérieur de la serre, étaient parfaitement blanches[1].

Les faits précédents sont très-curieux, mais il ne faudrait pas, en les généralisant, nier l'influence de la lumière sur la coloration des végétaux ; chacun sait que les plantes blanches, déve-

[1] *Comptes rendus*, tome LVI, p. 940. 1863.

loppées dans l'obscurité, verdissent à la lumière. M. C. M. Guillemin a même montré, depuis plusieurs années, que les rayons ultra-violets du spectre solaire, les rayons invisibles sont capables de déterminer l'apparition de la matière verte dans des feuilles tenues jusque-là dans l'obscurité [1], et M. Hervé Mangon a reconnu également que la lumière électrique favorisait la formation de la matière verte des feuilles [2]. — Celle-ci, on le sait, est indispensable au développement du végétal, c'est elle qui est le siége de la décomposition de l'acide carbonique et de l'eau, et les feuilles, quelles que soient leur couleur apparente, en sont toujours pourvues [3].

P.-P. Dehérain.

II

BIBLIOGRAPHIE.

Traité général de botanique descriptive et analytique, par MM. Le Maout et J. Decaisne; ouvrage contenant 5,500 figures dessinées par MM. L. Steinheil et A. Riocreux. Didot, 1868. — *Physiologie végétale*, par le docteur Julius Sachs; traduit par MM. Marc Mechi. Masson, 1868. — *Métamorphoses, mœurs et instinct des insectes*, par E. Blanchard. Germer-Baillière, 1868.

Il y a déjà quelques années, M. Le Maout avait publié, avec la collaboration de M. Decaisne, un atlas de botanique qui avait reçu du monde savant l'accueil le plus favorable, bien qu'il fût uniquement consacré aux familles européennes, et qu'il ne contînt que leur description purement organographique et très-abrégée ; l'ouvrage publié aujourd'hui est beaucoup plus complet ; on a ajouté aux familles indigènes la presque totalité des familles exotiques, en y joignant des considérations détaillées sur leurs affinités réciproques et leurs applications aux besoins de l'homme, de manière à former un ensemble complet, que puissent consul-

[1] *Comptes rendus*, tome XLV, 1857, p. 62 et 545.
[2] *Comptes rendus*, tome LIII, 1861, p. 243.
[3] *Annales de chimie et de physique*. 4e série, tome XIV, 1868, p. 332.

ter avec fruit les étudiants, aussi bien que les botanistes de profession.

Quand on parcourt cet ouvrage, on ne peut manquer d'être frappé de l'extrême perfection en même temps que du nombre des figures qu'il renferme. M. Decaisne a réuni dans ce volume des matériaux accumulés depuis trente ans. Toutes les analyses de plantes qu'il donne ont été dessinées par lui sur la nature; « aussi, comme iconographie analytique de l'ensemble des familles naturelles, nous ne connaissons aucun ouvrage ni en France, ni à l'étranger qui puisse lui être comparé[1]. »

Dans le *Traité de botanique,* les familles sont placées dans un ordre régulier, les auteurs étudient d'abord les plantes les plus parfaites pour arriver ensuite jusqu'aux végétaux les plus simples. Bien que les dicotylédonées soient décrites avec grand soin, les auteurs ont porté particulièrement leur attention sur les monocotylédonées et les cryptogames qui sont moins bien connues, et qui exigeaient des recherches plus approfondies et plus minutieuses; ce ne sera jamais sans une profonde surprise qu'on suivra la fécondation des algues, éclaircie par de nombreuses figures, empruntées aux beaux travaux de M. Thuret[2], et qu'on verra les zoospores émis par les algues, se rapprocher peu à peu des spores pour s'attacher à eux et les féconder; d'où il ressort une analogie remarquable dans l'acte de la fécondation chez les animaux les plus parfaits : les mammifères, et les végétaux les plus rudimentaires : les algues.

La première partie du traité général de botanique, bien que moins étendue que la seconde, présente cependant aussi un grand intérêt; elle débute par l'organographie et la glossologie : les formes variées des racines, celles des tiges, des feuilles y sont représentées par des figures toujours copiées d'après nature avec une rare habileté; puis vient la description de la fleur et de ses quatre parties, encore accompagnée de nombreux exemples qui éclairent singulièrement le texte et doublent l'intérêt de la lecture; des fruits, nous passons enfin à la graine, et nous avons ainsi parcouru le cercle complet du développement végétal.

[1] M. A. Brongniart, *Rapport sur les progrès de la botanique phytographique.*

[2] Voyez *Annuaire de* 1867, p 167.

Le second chapitre est consacré à l'anatomie, et des vues prises au microscope nous dévoilent les formes de tous les tissus élémentaires ; enfin, dans le troisième chapitre, les auteurs donnent un aperçu de la physiologie végétale. Nous recommandons au lecteur de ce chapitre les paragraphes dans lesquels sont résumées les recherches de M. Darwin sur la fécondation des deux variétés de primevère ou de lin les unes par les autres, d'où il résulte qu'une fleur peut rester stérile quand elle n'a reçu que son propre pollen, tandis qu'elle devient féconde quand les stigmates reçoivent le pollen d'une autre espèce ; il semble que la consanguinité qui amène, dit-on, la stérilité chez les animaux, soit aussi à redouter pour les plantes, et que le mélange des races favorisé par le vent ou les insectes, qui transportent le pollen d'une fleur à l'autre, soit une des conditions de la durée des espèces, et sans doute aussi une des causes de leur variation.

Les procédés les plus divers assurent, au reste, la fécondation chez les végétaux, nous n'en voulons d'autre preuve que le curieux passage du *Traité de botanique* où MM. Decaisne et Le Maout indiquent la fécondation de la *Vallisneria spiralis*, plante dioïque, dont les individus à fleurs étaminées végètent toujours dans le voisinage des individus à fleur pistillée. « A l'époque de la floraison, le pédoncule de la fleur pistillée s'allonge et la fleur vient flotter à la surface de l'eau ; alors les fleurs étaminées qui sont restées submergées, ne pouvant point, vu la brièveté de leur pédoncule, s'élever au niveau de la fleur pistillée, ne pouvant non plus compter, pour lui envoyer leur pollen, ni sur le vent, ni sur les insectes, exécutent spontanément une rupture qui les détachent de leur tige, et elles montent à la surface de l'eau, où on les voit voguer en grand nombre, autour de la fleur pistillée, sur laquelle les anthères projettent élastiquement une pluie abondante de pollen. Après cette fécondation, le pédoncule de la fleur femelle se resserre en spirale, et l'ovaire descend au fond de l'eau pour y mûrir ses graines. »

Sans doute, il existe déjà à l'étranger des ouvrages de botanique aussi étendus que celui que viennent de publier MM. Decaisne et Le Maout, mais nous ne pensons pas cependant qu'il soit possible d'établir de comparaison sérieuse entre le *Vegetable Kingdom* de M. Lindley, ou l'*Iconographia familiarum* de Schnigle in, et le *Traité de botanique*. Outre qu'on peut bien dire sans

être accusé d'un chauvinisme exagéré, que la lucidité, la clarté, la méthode nécessaires à l'exécution d'une pareille œuvre sont des qualités essentiellement françaises, il faut reconnaître qu'il est rare qu'un botaniste possède au degré de M. Decaisne une grande puissance de travail, beaucoup de sens critique et un rare talent de dessinateur ; qu'il ait enfin pour collaborateurs un écrivain aussi distingué que M. Le Maout, et qu'il se soit associé des dessinateurs remarquables comme Steinheil et M. Riocreux, dont la réputation est aujourd'hui universelle ; tous ceux qui ont pu notamment voir les aquarelles exécutées par cet artiste et les gravures qu'en a faites mademoiselle Tailland restent persuadés que le *Jardin fruitier du Muséum*, que publie aussi M. Decaisne depuis nombre d'années, restera comme un modèle qu'on pourra peut-être atteindre, mais jamais surpasser.

Si, ainsi que nous venons de le voir, l'anatomie végétale, la description et la connaissance des familles sont des sciences déjà très-avancées, il n'en est plus de même de la physiologie ; non-seulement, en effet, les observations sont ici singulièrement plus délicates, mais elles exigent des connaissances infiniment plus variées ; un auteur ayant à la fois des connaissances approfondies en botanique, en physique et en chimie, peut seul les aborder avec un plein succès ; aussi les recherches auxquelles cette partie de la science ont donné naissance, sont-elles éparses dans des recueils de diverses natures, et la difficulté d'avoir une nomenclature complète des mémoires publiés sur une question était considérable avant le livre que vient de publier M. le docteur Julius Sachs, de l'Université de Wurzbourg. Cet ouvrage, terminé en Allemagne en 1865, vient d'être traduit par M. Mechi, et nous ne doutons pas qu'il n'obtienne en France une place importante dans les bibliothèques des érudits.

Cet ouvrage ne saurait convenir aussi bien aux étudiants ou aux personnes qui ne sont pas déjà familiarisées avec la science : la forme est souvent un peu lourde, les matières n'y sont pas toujours classées avec toute la rigueur désirable, et la lecture en est fatigante ; c'est là un défaut qu'on rencontre souvent, il faut le reconnaître, chez les auteurs allemands, mais il est bien racheté par la vaste érudition que présentent les ouvrages composés de l'autre côté du Rhin. M. Sachs a divisé son ouvrage en treize

chapitres ; il traite d'abord de l'influence sur les végétaux, de la lumière, de la chaleur, de l'électricité et de la pesanteur. Il étudie ensuite la nutrition des plantes dans les chapitres intitulés : principes nutritifs, absorption des principes nutritifs, circulation de l'eau, circulation de l'air, influence de l'oxygène atmosphérique, transformation des principes nutritifs, migration des substances; le chapitre XII est consacré à la description de la structure moléculaire des parties organiques de la cellule, et le chapitre XIII porte le titre un peu obscur de tension des tissus ; il traite des « mouvements qui dérivent de tensions entre les couches érectiles et les couches passives d'un tissu ou d'une membrane. »

M. Sachs appartient à l'école physiologique qui cherche à rapporter à de simples actions physiques la plupart des phénomènes dont les végétaux sont le théâtre, et souvent il y réussit; ses travaux propres occupent dans l'ouvrage une place importante, on sent que l'auteur a non-seulement une profonde connaissance de la science, mais que c'est lui-même un chercheur, qui a plus d'une fois mesuré la difficulté des problèmes de la physique végétale, et qui connaît les méthodes à suivre pour les résoudre.

C'est toujours une bonne fortune pour le public quand un homme éminent, d'un savoir éprouvé veut bien écrire pour lui ; le succès est assuré, surtout quand le sujet qu'il doit traiter est par lui-même des plus attrayants, et que les moyens matériels de l'obtenir ne lui sont pas marchandés. — L'histoire naturelle est si peu cultivée aujourd'hui, en dehors des naturalistes de profession, que je ne crois pas me tromper en disant que la plupart des lecteurs des *Métamorphoses des insectes*, seront à la fois surpris et charmés de l'extrême intérêt des faits qu'ils y rencontreront et qu'entre nous toutes les personnes qui se piquent d'instruction moyenne devraient connaître. — Les récits que fait M. Blanchard sont si curieux, les observations qu'il nous rapporte sur les mœurs des insectes si extraordinaires, qu'on est bien aise de se sentir entre les mains d'un guide sûr, qui ne peut se tromper, car le premier sentiment serait celui du doute.

Personne, j'imagine, ne se récriera devant les notions anatomiques ou physiologiques qui commencent le volume; bien qu'il y ait toujours un grand intérêt à voir comment les organes se

modifient en passant des mammifères aux insectes, les faits établis par l'auteur n'ont rien qui surprennent; on est encore plus satisfait que surpris en apprenant que si le criquet voyageur et la sauterelle parcourent de grands espaces, c'est qu'ils peuvent gonfler d'air leurs trachées, augmenter ainsi considérablement leur volume sans changer sensiblement leur poids, ce qui leur donne une plus grande facilité pour être portés par le vent; on comprendra encore que si leur respiration devient plus active, que si la production de chaleur est plus sensible, l'air des trachées s'échauffe, sa densité diminue et que la facilité du vol s'en trouve ainsi augmentée; ce ne sera pas sans un retour doux et triste à la fois vers les jeunes années qu'on se rappellera que le hanneton, que dans notre enfance nous avons regardé curieusement *compter ses écus*, gonflait ses trachées pour s'envoler plus à l'aise; mais quand on en arrivera aux mœurs des fourmis, par exemple, on en sera toujours émerveillé; l'habileté de leurs travaux est faite pour étonner sans doute, et j'accorde, cependant, qu'il n'y ait encore là qu'une sorte d'instinct, mais j'ai de la peine à ne pas voir surgir l'intelligence quand j'assiste à l'attaque des fourmilières des *Noir-cendrées* par les *Amazones*, et que je vois ces dernières, paresseuses et maladroites, mais guerrières, aller conquérir une population d'ouvrières pour travailler à leur place, ouvrières qu'elles ont soin de prendre à l'état de larves, pour que l'amer souvenir de l'indépendance perdue n'amène pas de révoltes ouvertes et ne vienne pas troubler la sécurité des vainqueurs. « Les ouvrières qui viennent à éclore, ne connaissant pas d'autre logis que l'endroit où elles sont nées, n'ont aucune envie de fuir; obéissant à leurs instincts, elles se mettent à construire, elles soignent les larves des *Amazones*, comme elles eussent soigné les larves de leur propre espèce, sans s'apercevoir de la différence. Esclaves soumises, elles n'ont probablement pas conscience de leur servitude, et voilà comment les *Noir-cendrées* et les *Amazones* vivent en parfaite intelligence. »

Linné connaissait déjà les rapports des fourmis et des pucerons, il savait que le puceron est la vache de la fourmi; toutes les fourmis sans exception recherchent les pucerons pour humer la liqueur sucrée qu'ils produisent, mais quelques espèces sédentaires transportent les pucerons chez elles, choisissent ceux qui

vivent sur des graminées, sur des racines, sur des plantes basses. Ces fourmis, toujours fort attentives à bien traiter leurs pucerons, ont donc de véritables troupeaux. « Une fourmilière, dit Huber, est plus ou moins riche selon qu'elle a plus ou moins de pucerons, c'est leur bétail, ce sont leurs vaches et leurs chèvres : on n'eût pas deviné que les fourmis sont des peuples pasteurs! »

L'histoire des abeilles n'est pas moins merveilleuse, et le physiologiste est profondément étonné que la nature de la nourriture que les abeilles nourrices donnent aux jeunes larves amène soit la naissance d'une ouvrière, soit l'apparition d'une femelle féconde; les faits que rapporte l'excellent observateur Huber vont au delà de l'instinct : quand l'abeille construit les alvéoles de cire, elle doit les bien disposer, régulièrement, solidement, et si la construction est mauvaise, il faut recommencer. « Plusieurs fois on s'est aperçu que des abeilles construisant des gâteaux, ayant mal travaillé, survenaient d'autres abeilles détruisant l'ouvrage imparfait pour le recommencer. N'est-ce pas là la preuve d'une appréciation? Combien de fois n'a-t-on pas chanté les abeilles! et comment en serait-il autrement, la poésie y apparaît à chaque instant. » Huber fut le premier à s'apercevoir que chaque reine, peu de jours après sa naissance, sort de la ruche, s'envole suivie d'une foule de mâles et disparaît dans les airs à une grande hauteur. C'est alors que s'effectue le mariage de la reine, qui ne doit être mariée qu'une fois dans sa vie. Elle revient au logis, portant des signes certains que désormais elle sera une mère accomplie. A partir de ce moment, elle vivra absolument sédentaire, et si elle doit encore sortir de sa ruche, ce ne sera que pour fonder une nouvelle colonie. »

Les mœurs de certains hyménoptères sont encore des plus curieuses; voici ce que rapporte à leur sujet M. Verreau : les mâles des thynnes d'Australie sont pourvus d'ailes, tandis que les femelles, plus petites, n'en ont pas. « Le mâle s'envole parfois en portant sa femelle entre ses bras et la tenant avec un soin extrême; on le voit se poser sur des fleurs ; hélas! il n'est pas de bonheur sans jalousie et souvent d'autres mâles moins heureux, arrivant au même endroit, cherchent à lui ravir sa compagne. Une lutte s'engage, et le mâle, qui devient impuissant à défendre sa femelle contre les attaques de plusieurs, prend le parti de la *manger*. »

Voici apparaître maintenant la patiente araignée, le brillant papillon et toute la dure armée des coléoptères armés de pied en cap ; — les crustacés, enfin, dont les métamorphoses et les mœurs sont encore un si curieux sujet d'étude, terminent la marche.

Il suffit d'un instant de réflexion pour comprendre qu'il y a dans l'histoire des insectes autre chose qu'un simple sujet de curiosité, et que notre industrie et notre agriculture sont grandement intéressées à ce que leur histoire soit bien connue ; n'avons-nous pas vu toute une partie de la France à moitié ruinée par suite de la maladie du ver à soie, et les pertes que nous fait subir le hanneton, qui se propage d'autant mieux, que par l'effort de nos puissantes charrues nous ameublissons la terre davantage, ne nous montrent-elles pas que l'insecte peut être un ennemi des plus redoutables. Tout nous engage donc à étudier ces petits êtres ; et ici comme toujours, c'est le cas de répéter : « Cherchez le royaume de la science pure, et le reste vous sera donné par surcroît. »

Le livre de M. Blanchard est, au reste, bien fait pour rendre ces études attrayantes ; écrit avec soin, composé avec méthode, enrichi de gravures sur bois nombreuses et bien exécutées, il peut convenir à tous les curieux des choses de la nature, qui y trouveront une lecture remplie de charme et d'intérêt.

P.-P. D.

DEUXIÈME PARTIE

SCIENCES APPLIQUÉES

ART DE L'INGÉNIEUR

I

L'ASSAINISSEMENT DES VILLES

La vie animale donne naissance à d'immondes résidus : les eaux sales du lavage, les débris de cuisine, les eaux croupissantes des égouts, les déjections humaines; tout cela s'entasse à nos côtés, au coin de la borne, dans le ruisseau de la rue, dans des fosses fétides au-dessous des maisons ; tout cela fermente, se putréfie, salit le pavé, souille le sol, infecte l'air et dégage, surtout en la saison des chaleurs, des miasmes aussi désagréables à l'odorat que nuisibles à la santé. Il n'est personne qui n'en ait été choqué, même au sein des cités les mieux tenues.

Si l'on veut étudier cette question, il faut se résigner à visiter les égouts et examiner ce qui se rapporte à l'évacuation et à l'emploi des matières fécales. Le sujet répugne, et l'on ne saurait l'aborder qu'avec la crainte d'inspirer le dégoût. Mais comme il n'en est pas qui touche de plus près à la salubrité publique, on

doit surmonter la délicatesse des sens qui serait justifiée en toute autre circonstance. Il faut imiter les Romains qui, soucieux de l'hygiène, n'eurent pas nos répugnances efféminées pour les égouts de leurs cités et qui en confiaient l'entretien, comme une marque d'honneur, à des personnages éminents, *curatores cloacarum.* Il n'est plus permis d'ignorer ce qui se passe en ces rues souterraines, et de quelle manière elles contribuent à notre bien-être.

Parlons d'abord de la plus abjecte des causes d'infection qui pullulent dans les grandes villes. Au sein des grandes agglomérations du nord de la France, les déjections humaines sont recueillies dans des citernes étanches que l'on suppose ne rien abandonner de leur contenu au sol environnant. Voilà ce que l'on a trouvé de mieux ; on doit avouer que c'est un procédé barbare que de créer au-dessous d'une maison un foyer de pestilence sans cesse en activité. Mais, pour comble de misère, ces réceptacles fétides laissent souvent filtrer les liquides dont ils sont remplis, et empoisonnent les nappes d'eau environnantes. L'eau des puits contracte alors une odeur caractéristique, devient impropre à la boisson. Dans les départements du Midi, l'état des choses est pire encore. Les matières fécales sont entassées dans des cours ou versées dans les ruisseaux des rues, en sorte qu'elles corrompent à la fois l'air, le sol et l'eau. L'odorat, sens capricieux, quoique délicat, s'y accoutume peut-être ; mais la santé éprouve, tôt ou tard, la funeste influence des exhalaisons qui s'en échappent.

Dira-t-on que la chaleur du soleil et la sécheresse du climat sont une excuse ? En Flandre, où les conditions atmosphériques sont défavorables, les fosses d'aisance se réduisent souvent à un simple trou découvert. En Angleterre les fosses ouvertes ne sont pas une exception. Les commissions d'enquête sanitaire de 1845 et de 1854 pénétrèrent dans les logements dont les planchers étaient recouverts par des nappes d'immondices débordant des fosses voisines. En des villes, telles que Manchester et Liverpool, le terrain était saturé de ces liquides infects.

Mais à supposer, ce qui serait le cas le plus favorable, que ces citernes soient bien closes, elles finissent tôt ou tard par se remplir. Il faut alors les vider. Voyons, par exemple, comment cela se passe à Paris. Lorsqu'on cure une fosse, les matières sont divisées en deux parts : d'un côté des liquides presque

inodores, et bien à tort réputés inoffensifs, sont versés dans le ruisseau qui les conduit à la bouche d'égout la plus proche ; de l'autre, les substances solides sont engouffrées dans d'immenses tonneaux, foyers d'infection ambulants, qui remplissent la ville de bruit et d'odeurs nauséabondes. Il y a deux cents de ces lourdes voitures qui circulent chaque nuit dans les rues de Paris. Elles se rendent au dépotoir de la Villette où elles arrivent de minuit à huit heures du matin, et se déchargent aussitôt en de vastes citernes couvertes. Le dépotoir reçoit ainsi environ 2,000 mètres cubes de matière par vingt-quatre heures. Cette masse infecte est reprise immédiatement au moyen de pompes à vapeur qui la refoulent, par des tuyaux souterrains, jusqu'aux bassins de la voirie située à 10 kilomètres de distance, dans la forêt de Bondy. Les matières se déposent là dans d'immenses réservoirs à ciel ouvert, qui couvrent une superficie de sept hectares et ont une capacité de 100,000 mètres cubes. Elles se dessèchent, se concentrent, en empestant le pays d'alentour ; au bout de trois ou quatre ans, c'est devenu de l'engrais. Ces deux usines de Bondy et de la Villette sont des modèles à citer sous le rapport de l'organisation et des précautions hygiéniques. Mais étant admis que l'on a su éluder autant que possible les inconvénients du système, il n'en est pas moins vrai que l'existence d'un si gigantesque cloaque aux portes de Paris, non moins que les opérations dégoûtantes qui s'opèrent au préalable, sont un contre-sens à côté des merveilles que la capitale de la France offre aux regards.

Ces opérations sont aussi une charge très-lourde pour les propriétaires, car on estime que le mètre cube de vidange coûte, à Paris, 8 francs d'extraction ; c'est environ ce que produit chaque personne adulte en une année. Or, le mètre cube vaudrait 12 à 15 francs, en tant qu'engrais, s'il était convenablement répandu sur des terres en culture. On en retire à peine la dixième partie sous forme de poudrette et de sels ammoniacaux. Il y a donc un gaspillage considérable. Dans les Flandres et en Hollande, où l'on fait grand cas de cet engrais humain, on s'y prend de façon à en perdre le moins possible. Aussi à Anvers, l'exploitation des vidanges, qui s'opère au profit du trésor communal, rapporte, année commune, 80,000 francs ; à Louvain, la ville en retire 15,000 francs ; 20,000 à Arnheim, 40,000 à Groningue. Les Flamands s'en sont servis pour transformer des landes arides

en bonnes terres arables, et attribuent en partie à cette alimentation énergique le succès de leurs belles cultures industrielles. Les Campinois, au retour du marché, rapportent chez eux leur petite provision de matière fraîche ; mais, encore une fois, quelle infection ! que de manipulations dégoûtantes !

Quant aux ordures de toute sorte qui sont les résidus de l'alimentation ou les rebuts de la vie ménagère, c'est le pavé de la rue qui les reçoit ; elles y sont foulées aux pieds par les passants, écrasées par les voitures, remuées par les chiffonniers ; puis, une fois par jour — à Paris, c'est entre sept et neuf heures du matin — elles sont recueillies par des tombereaux non moins désagréables par les émanations qui s'en exhalent que par les suintements qui s'en échappent. C'est encore de l'engrais pour les champs en culture, sans compter ce que les chiffonniers fournissent à des fabriques de papier, de carton et de noir animal. Mais là encore, que d'opérations répugnantes pour la vue et l'odorat, et par conséquent nuisibles à la santé publique !

Il faut faire attention aussi à toutes les choses sans nom qui s'entassent dans les égouts. Quand ces galeries souterraines sont construites avec une pente insuffisante ou mal entretenues, elles ne font qu'ajouter une puanteur de plus à toutes les autres causes d'infection de la voie publique. Il existe des villes où des ouvriers descendent à jour fixe dans les égouts pour faciliter, à force de bras, le départ des immondices, métier dangereux qui fait fréquemment des victimes, parce que les caveaux, privés d'air, se remplissent de gaz asphyxiants. Ailleurs on laisse les ordures s'empiler pendant des mois et des années ; lorsque le canal est comble, on en démolit la voûte en ouvrant la chaussée de la rue et on le vide à fond ; mais tandis que cette opération barbare s'accomplit, la ville entière est empoisonnée.

I

LES ÉGOUTS DE PARIS.

On a souvent cité avec éloges l'admirable réseau d'égouts dont Paris est maintenant pourvu. Le préfet de la Seine rappelait récemment, avec un juste orgueil, que plusieurs des souverains

attirés en France par l'Exposition universelle n'avaient pas dédaigné de parcourir cette ville souterraine. Ces visites aux nouvelles catacombes de la capitale eussent été accueillies jadis par un sourire de dégoût et d'incrédulité; on les considère aujourd'hui comme un hommage légitime à l'habileté de nos ingénieurs. En vertu du décret du 26 mars 1852 sur la grande voirie de Paris, toutes les maisons doivent être disposées de façon à rejeter dans l'égout, par une issue directe, les eaux pluviales et ménagères. Autour de chaque îlot de maisons, sous le sol de chaque rue, il doit donc y avoir une galerie souterraine. De chaque côté se détachent des embranchements latéraux qui s'avancent jusqu'au mur de face des fondations ou pénètrent même sous les maisons, et reçoivent les liquides impurs de la surface supérieure. Ces galeries qui sont les plus étroites sont de forme ovoïde, et ont $2^{m},30$ de haut sur $1^{m},30$ dans la plus grande largeur; elles débouchent dans des canaux plus larges que l'on appelle collecteurs. Il y a sept collecteurs, tous dirigés parallèlement à la Seine, car on n'a pas voulu décharger les liquides impurs dans le fleuve par crainte d'en salir et d'en corrompre les eaux. Chacun dessert l'ensemble des rues et des quartiers compris entre deux lignes de hauteur. Ainsi l'un d'eux, qui suit la longueur de la rue de Rivoli, reçoit tout ce qui provient du Marais; un autre, sur le quai de la rive gauche, absorbe les eaux de la Bièvre, petit affluent de la Seine qui est empoisonné par de nombreuses fabriques. Ces collecteurs ont des dimensions variables, suivant le volume d'eau qu'ils doivent débiter et l'étendue de la surface du sol à laquelle ils correspondent. Loin d'en exagérer inutilement la largeur, on s'aperçoit déjà que les premiers construits, avec une section jugée à cette époque excessive, sont au contraire plus étroits qu'il ne faudrait. L'intérieur de ces voies obscures est, au reste, fort propre, en dépit du hideux contingent qu'elles recueillent. Les liquides impurs s'écoulent au milieu du canal entre deux banquettes sur lesquelles, sauf en temps d'orage, les ouvriers de service circulent à pied sec; au sommet sont suspendus des tubes qui distribuent l'eau claire aux divers quartiers de la capitale. On a songé à y installer aussi les conduites du gaz d'éclairage afin d'en faciliter la surveillance et d'éviter les excavations qu'il est nécessaire, de temps à autre, de creuser dans les rues pour réparer ces tuyaux.

Les collecteurs de la rive droite se réunissent sur un tronc commun qui va de la place de la Concorde à la place Laborde; ceux de la rive gauche aboutissent au quai de la Seine, près du pont de l'Alma. La masse des liquides impurs que produit la ville entière arrive donc sur ces deux points; en temps ordinaire il y en a pour le moins 300,000 mètres cubes par jour. Rejeter ce torrent noir et infect dans la Seine au voisinage des plus beaux quartiers de la capitale, on n'y pouvait songer; les eaux en eussent été corrompues au grand préjudice des bains, des lavoirs et des autres industries qui vivent sur le fleuve; la salubrité des habitations qui bordent les deux rives en eût été compromise. On ne pouvait non plus prolonger les collecteurs le long du quai jusqu'en dehors des fortifications, parce que la pente des égouts doit être assez raide pour que le courant y soit toujours rapide et que le niveau du radier doit être assez élevé pour que les grandes crues du fleuve ne pénètrent pas à l'intérieur. Les ingénieurs remarquèrent que la Seine, au sortir de Paris, après avoir décrit un long circuit qui la mène jusqu'à Sèvres, se rapproche des fortifications en se repliant sur elle-même. Le pont d'Asnières n'est distant de la place de la Concorde que de 3 kilomètres en ligne droite, bien qu'il en soit séparé par 20 kilomètres de rivière. Le grand collecteur, ou émissaire général, fut donc dirigé de la place Laborde vers Asnières, en traversant par un tunnel les hauteurs de la barrière Monceau qui s'interposent entre ces deux points extrêmes. Cette galerie souterraine, qui est la plus grandiose que l'on ait jamais creusée pour un tel usage, mesure 5 mètres de large sur 4^{m},40 de haut. Elle surpasse en dimensions la *Cloaca maxima* que Tarquin construisit entre le Forum et le Tibre en vue d'assainir les rues de l'ancienne Rome.

Mais si les eaux d'égout de la rive droite arrivaient naturellement dans cet émissaire, il n'en était pas de même pour celles de la rive gauche, puisqu'il restait à leur faire traverser la Seine. On a surmonté cette difficulté par un travail ingénieux dont l'exécution a été l'un des plus curieux spectacles de l'année 1868. Il s'agissait de placer sous le lit du fleuve un siphon de grosseur gigantesque par lequel le flot impur de la rive gauche pût passer sur la rive droite sans se mêler aux eaux de la Seine. Ce sont deux tubes, en tôle de 2 centimètres d'épaisseur, qui ont chacun 1 mètre de diamètre et 155 mètres de long. Ils sont enfouis dans

une tranchée creusée à la drague tout près des piles du pont de l'Alma, de façon à ne pas former une saillie gênante pour la navigation. La mise en place de ces tuyaux en travers du courant a été la partie la plus difficile de l'opération, d'autant plus qu'elle s'exécutait au mois de septembre, en une saison où la baisse des eaux gênait les manœuvres. Les radiers des égouts ont été disposés de telle sorte que le niveau des eaux sur la rive droite soit de 1 mètre plus bas que sur la rive gauche. C'est en vertu de cette différence de niveau que l'écoulement s'opère. On a calculé qu'elle est suffisante pour que chaque tube puisse débiter près de 150,000 mètres cubes de liquide en vingt-quatre heures. Cela correspond à une vitesse de $2^m,17$ par seconde, ce qui est assez pour que des objets de grosseur moyenne soient entraînés par le courant. Aussi, en temps ordinaire, c'est-à-dire en dehors des moments de pluie et d'orage, le service se fera par un seul tuyau à la fois.

Au bout du siphon, sur la rive droite, commence un second émissaire qui passe en tunnel sous la place de l'Étoile et se raccorde avec le premier, dont le point de départ est, nous l'avons dit, à la place de la Concorde. Ces deux exutoires réunis viennent se décharger en Seine près du pont d'Asnières. Le fleuve ne reçoit plus d'eaux sales dans la traversée de Paris, si ce n'est le produit peu important des égouts de la Cité et de l'île Saint-Louis, et le trop-plein des collecteurs principaux au moment des gros orages qui déversent subitement un énorme volume d'eau.

Tant en galeries étroites, qu'en larges collecteurs, le réseau souterrain de Paris, lorsqu'il sera complet, n'aura pas moins de 600 kilomètres de long, ce qui est à peu près la longueur totale des rues, boulevards, avenues et autres voies publiques. Tous ces canaux, revêtus de ciment à surface lisse et brillante, laissent glisser les liquides sans retenir aucune ordure. Les eaux impures s'écoulent avec une vitesse telle qu'elles ne puissent abandonner en route les immondices qu'elles entraînent. Des dispositions ingénieuses permettent de faire le curage sans que les passants qui circulent dans les rues s'aperçoivent des opérations répugnantes accomplies sous leurs pieds. Enfin, tout ce qui contribue à maintenir la propreté de cette seconde ville souterraine a si bien été compris que les bouches ouvertes sur la voie publique ne dégagent aucune odeur nauséabonde. Tout a été calculé, la pente et le niveau du

chenal, la hauteur des voûtes, la largeur de la cuvette qui reçoit les eaux sales et des banquettes qui permettent aux ouvriers une circulation facile ; tout a été combiné d'avance, non pas dans la juste proportion des besoins du moment, mais avec une sage prévision des exigences que l'avenir imposera.

Il faut bien dire qu'un si grand résultat ne s'obtient qu'au prix de dépenses considérables. Le drainage de Paris aura coûté de 30 à 40 millions de francs. C'est qu'aussi ce n'est pas là de ces œuvres que l'on recommence souvent. Les égouts de la Rome primitive subsistent encore, comme un témoignage indestructible que les premiers édiles de la capitale du monde ont laissé de leur prévoyante sollicitude. Seulement on comprendra que peu de villes en France et même en Europe aient le pouvoir de pratiquer au même degré le nettoyage et l'égouttement de leurs voies publiques.

Que devient l'énorme masse d'eau sale à laquelle l'émissaire d'Asnières donne issue ? Jusqu'à ce jour elle tombe dans la Seine, et ce n'est pas sans que les riverains de la partie inférieure du fleuve en éprouvent de graves inconvénients. Il s'en dégage des odeurs nauséabondes, les matières en suspension forment des dépôts fangeux sur les rives. De plus, il y a une perte considérable pour l'agriculture, qui tirerait profit de ces eaux grasses et riches en produits ammoniacaux. L'état de choses actuel n'est pas définitif. On songe à purifier ces eaux en les mélangeant dans d'immenses réservoirs avec des substances désinfectantes, par exemple le sulfate d'alumine. Mais quelques personnes conservent des doutes assez justifiés sur l'efficacité de ces procédés d'épuration chimique qui n'ont encore réussi que lorsqu'on les a appliqués sur une petite échelle. D'autres proposent d'employer les eaux sales en irrigation sur les terrains graveleux de la vallée de la Seine ; mais le collecteur d'Asnières débouche à 10 mètres au-dessous de ces terrains ; il faudrait donc remonter les eaux avec des pompes. On semble mal disposé en faveur de ce système qui exigerait une installation coûteuse et des dépenses d'entretien considérables. Nous verrons tout à l'heure comment la même difficulté a été surmontée en Angleterre, non-seulement sans dépense pour la ville, mais encore avec un profit certain pour ceux qui ont entrepris de la résoudre.

II

LES ÉGOUTS DE LONDRES.

Personne ne conteste que les miasmes délétères soient un danger pour la santé publique. Les hygiénistes ont reconnu que les épidémies se développent avec plus d'intensité dans les quartiers et dans les édifices où de mauvaises odeurs sont habituellement perceptibles. Le choléra, ce fléau redoutable contre lequel la science médicale épuise en vain ses ressources, le choléra paraît tenir, par quelque lien secret, aux émanations odorantes ou inodores que fomentent les débris de notre existence.

Tout au contraire les plantes s'accommodent à merveille du fumier humain, sous quelque forme et en quelque état qu'il se présente. Qu'on répande des substances en putréfaction sur le sol cultivé, les radicelles des végétaux en aspireront chaque molécule, les décomposeront, se les assimileront, et transformeront ces choses sans nom en séve, en feuilles et en fruits, de même que notre corps transforme ses aliments en chair et en sang. Le règne animal engendre le règne végétal, et réciproquement. Les miasmes ammoniacaux qui sont la mort pour nous sont la vie pour les plantes. Les végétaux se nourrissent de résidus qui seraient des germes de maladie pour notre pauvre corps. En un mot, la mort alimente la vie. Les Anglais ont eu raison d'appeler cela fermer le cercle de la nature, et ils ont dit avec une égale justesse qu'il est dangereux d'interrompre le cercle des opérations de la nature, car si les débris de la vie animale ne fermentent pas pour le bien, ils fermenteront pour le mal.

Cela veut dire, en deux mots, que les boues des rues, les déjections et autres débris immondes que crée toute agglomération humaine doivent être livrés sans délai à l'agriculture qui en fait son profit et qu'il faut bien se garder de les conserver en tas ou en fosses, comme nous le faisons à tort. Certes, cette idée n'était pas neuve, et les hygiénistes de la Grande-Bretagne n'ont pas eu trop de peine à la faire admettre. Mais il est remarquable qu'ils ont réussi, ce qui était plus difficile, à la faire prévaloir d'une

façon absolue dans les travaux entrepris pour l'assainissement des villes. C'est, en effet, sur ces principes qu'est fondé le système d'assainissement à circulation continue dont on va voir l'organisation.

Ce système consiste en trois opérations :

1° Distribuer dans la ville une abondante quantité d'eau pure et limpide, en sorte que chaque habitant en ait à sa disposition autant qu'il en a besoin sans dépenses et sans travail. On n'a qu'un robinet à tourner pour avoir une source chez soi;

2° Délayer avec cette eau les résidus de l'habitation, y compris les débris de cuisine et les matières fécales, et recueillir le tout dans un réseau d'égouts étanches qui n'en laisse rien évaporer ni rien filtrer à travers le sous-sol des rues;

3° Enfin diriger ce flot impur sur des terres cultivées que l'on arrose avec abondance et qui produisent à proportion de ces irrigations fécondantes.

Le caractère essentiel de la méthode anglaise est d'amener les eaux corrompues à un tel état de dilution et de les faire circuler avec une telle rapidité que les matières fermentescibles ne puissent émettre des miasmes délétères et qu'elles arrivent sur les végétaux sans avoir rien perdu de leur vertu fécondante. « Toute mauvaise odeur dans la cité, dans la rue, dans l'habitation, a-t-on dit, dénote une atteinte à la santé publique et une perte d'engrais. » L'agriculture et la salubrité publique ont des intérêts solidaires en la question. On ne peut dérober quelque chose à la première sans nuire à la seconde.

Ainsi le système à circulation continue supprime les fosses d'aisance; il n'y a plus, par conséquent, d'opération de vidange. Il supprime les dépôts d'ordures dans les rues; on n'y voit plus circuler le matin les lourds tombereaux qui laissent sur leur passage une trace immonde et une odeur repoussante. La surface des voies publiques reste nette; le sol des villes est préservé d'infiltrations malsaines. Tout le *caput mortuum* de la cité disparaît par des conduits souterrains, loin du regard et de l'odorat. Mais aussi, tout se retrouve à quelques kilomètres plus loin et s'écoule à la surface des champs, des prairies ou des jardins maraîchers. Le liquide trouble et sale filtre à travers le sol, aban-

donne aux plantes les éléments d'engrais qu'il recèle et retourne à la rivière sous forme d'eau pure et limpide.

Il y plus de cent ans déjà qu'une partie des eaux d'égouts que produit la ville d'Édimbourg est employée en irrigations sur des prairies voisines, et l'on avait pu constater que ces eaux conviennent très-bien aux pâturages. Cependant ce mode d'assainissement n'avait été appliqué à Édimbourg que sur une échelle restreinte et par l'initiative d'un particulier dont la propriété était bordée par le canal collecteur des égouts. A Rugby, petite ville de 8,000 âmes, un système complet d'assainissement par cette méthode fut établi il y a une quinzaine d'années. Il y avait même une complication de plus : comme il faut que les terres qui reçoivent les liquides soient assez élevées pour ne pas se transformer en marécages, on fut obligé dans cette localité de remonter les eaux d'égout à 8 ou 9 mètres de haut avec une machine à vapeur. A Carlisle, à Croydon, des travaux analogues furent exécutés. Ces divers essais donnèrent aux Anglais une grande confiance en la méthode dont il s'agit. Ils se décidèrent alors à en faire l'application à la ville de Londres elle-même, à cette immense métropole de trois millions et demi d'habitants.

Conçue à l'origine sur un plan uniforme, l'exécution du drainage parisien s'est étendue d'année en année à de nouveaux quartiers sans embarras ni difficultés, grâce à la concentration en une seule main de tous les services de voirie. A Londres, il fut longtemps impossible de conduire avec ensemble des opérations de ce genre. Jusqu'en 1856, la capitale des Iles Britanniques était divisée en huit juridictions indépendantes qui réglaient, chacune à sa guise, les travaux de drainage de son propre territoire. Les égouts étaient étroits, présentaient des profils variables et n'avaient pas toujours un écoulement assuré. D'ailleurs, beaucoup de fosses d'aisance y déversaient leur contenu, ce qui contribuait à les souiller et à les engorger plus vite. On établit, il est vrai, de nombreuses communications entre les égouts et la Tamise ; mais alors le fleuve fut horriblement infecté, inconvénient d'autant plus grave que le mouvement alternatif de la marée promenait d'abjects résidus d'un bout à l'autre de la ville et que les eaux distribuées à la population y sont puisées directement. De cruelles épidémies montrèrent combien tout cela était vicieux : en 1832, en 1849 et en 1854, le choléra fit des ravages épouvantables ; en 1859,

le Parlement, qui siége sur le bord de la Tamise, fut obligé, par la mauvaise odeur, d'interrompre ses séances pendant la saison chaude.

Les commissions municipales entre lesquelles le territoire de Londres était partagé, n'avaient pas eu le pouvoir de remédier à ces maux. L'acte royal de 1856 vint opérer une transformation administrative radicale. La métropole fut partagée en 39 districts, en chacun desquels un conseil électif avait mission de veiller à l'éclairage, au pavage, au régime des égouts. De plus ces conseils désignèrent 45 délégués pour constituer le Conseil métropolitain des travaux, sorte de corps municipal, armé d'un pouvoir absolu sur toutes les questions qui concernent la voirie. Le conseil métropolitain nomme des ingénieurs, prescrit des travaux, lève des taxes. A lui revient l'honneur des améliorations sanitaires dont nous allons exposer le plan. Il est juste toutefois de rappeler que depuis quelques années des discussions publiques avaient élucidé les questions relatives à l'assainissement des villes et que le *Board of Health* avait posé sous une forme très-nette et très-explicite les principes généraux qui doivent présider aux entreprises de cette sorte.

Il existait déjà sous le sol des rues de Londres des égouts communiquant d'un côté avec les maisons pour en absorber les déjections, de l'autre avec de grands collecteurs perpendiculaires au fleuve pour y décharger leur infect produit. A marée basse, tout ce réseau de conduites souterraines dégorgeait dans la Tamise ; au moment du flot, surtout lorsqu'il coïncidait avec une forte pluie, la Tamise refluait à son tour dans les égouts, les liquides impurs y étaient emprisonnés, ils rentraient même dans les branchements particuliers des édifices et y déposaient des matières en putréfaction.

Le premier soin du conseil métropolitain devait être de préserver la Tamise de tant de souillures. Il y avait là un intérêt capital pour l'hygiène publique et l'alimentation de la ville en eaux potables. Ce fut en vue de cet objet que fut dressé le plan du *main drainage*, drainage principal. Le projet qui a été mis à exécution comprend, sur chacune des rives, trois grands collecteurs parallèles au fleuve et coupant à angle droit tous les collecteurs déjà établis. Les trois collecteurs d'une même rive aboutissent à un émissaire qui se prolonge au loin le long de la Tamise et se décharge

en un vaste réservoir, à Barking-Creek, à 22 kilomètres en aval du pont de Londres. Ce réservoir n'est ouvert que deux fois par jour, pendant deux heures chaque fois, au moment de la marée descendante qui entraîne les impuretés vers la mer.

Il est à remarquer que certains quartiers de Londres sont tellement bas que le radier des collecteurs se trouvait au-dessous de celui de l'émissaire. Il a fallu créer des pompes à vapeur pour remonter les eaux de 10 à 12 mètres et les faire arriver en rivière plus haut que le niveau de la marée.

En somme le *main drainage* de la métropole de l'Angleterre se compose de 132 kilomètres d'égouts ou d'émissaires à large section, de quatre usines à vapeur d'une force totale de 2380 chevaux pour mouvoir les pompes aspirantes, et de deux immenses réservoirs sur les berges de la Tamise en aval des quartiers habités; le tout a coûté 105 millions de francs. Grâce à ces travaux gigantesques, qui sont maintenant terminés, le sous-sol a été assaini, la surface des voies publiques a été purifiée, la Tamise est redevenue limpide; cependant les fosses d'aisance ont été supprimées ainsi que tout amas d'immondices. Suivant une expression heureuse de l'ingénieur Robert Stephenson, le résultat acquis est le même que si l'on avait surélevé de 6 mètres le pavé des rues et les fondations des édifices. Ces travaux seront payés en 40 ans au moyen d'une taxe spéciale de trois deniers par livre sur les propriétés, ce qui équivaut à ce que nous appellerions en France 1, 2 centime additionnel.

Cependant la solution n'est pas encore complète; car toutes les impuretés de la ville vont se perdre dans la Tamise, de là dans la mer, sans profiter à personne. Or, l'Anglais, s'il aime la propreté, sait calculer au juste ce que valent les ordures. Le grand chimiste Liebig a prétendu qu'une ville comme Londres produit pour 50 millions de francs de matières fécales par an; d'autres évaluations plus modestes montent encore à moitié de ce chiffre, en prenant pour base un prix de 15 centimes par mètre cube d'eau enrichie de déjections animales. C'est le prix que payent volontiers les agriculteurs pour les liquides dont ils arrosent leurs prairies. D'une façon ou de l'autre, il s'agit d'une valeur importante. Il eût été d'autant plus regrettable de la laisser perdre à la mer que la culture intensive de notre époque réclame des quantités d'engrais artificiel de plus en plus considérables. Quel-

ques personnes songeaient bien à purifier, comme on l'essaye en France, les eaux d'égouts par des procédés chimiques lorsqu'elles sont au repos dans les réservoirs à l'extrémité des émissaires; une solution de sulfate d'alumine ou d'acide carbolique (souvent désigné aussi sous le nom d'acide phénique) clarifie presque ces liquides boueux, et le dépôt recueilli au fond peut être répandu sur les terres arables avec profit. Mais, après expérience faite, on s'est décidé pour l'emploi à l'état naturel, comme étant tout à la fois plus salubre et plus économique. C'est un principe admis maintenant en Angleterre, que l'eau sale doit être versée, telle qu'elle est, sur des prairies, sur des champs ensemencés; les racines de la plante absorbant les infiniment petits débris organiques qui y pullulent, la terre cultivée est le filtre le plus efficace qui se puisse imaginer.

L'application des eaux d'égouts à la culture est une opération industrielle que le conseil métropolitain des travaux n'avait pas qualité d'entreprendre; ce devait être abandonné à l'initiative des particuliers. En ce qui concerne les quartiers de Londres qui sont au nord de la Tamise, ce fut l'objet d'une concession accordée pour 50 ans à une compagnie au capital de 52 millions (*Metropolis sewage and Essex reclamation Company*). Cette compagnie se propose, ainsi que son titre l'indique, un double but: d'abord mettre le liquide fécondateur à la disposition des cultivateurs qui en voudront faire usage, moyennant redevance, et ensuite, par le surplus de l'eau, transformer en prairies certains bancs de sable du littoral. A cet effet, un long aqueduc partira du réservoir de Barking-Creek, se dirigera vers l'est dans une direction parallèle à la Tamise, et aboutira à la mer du Nord après un parcours de 70 kilomètres. Si cet aqueduc avait été tracé à la surface du sol, il n'eût eu qu'une pente insuffisante, et, en outre, l'étendue des terrains irrigables eût été trop restreinte. Près du point de départ se trouveront des pompes à vapeur qui relèveront les liquides de 20 mètres afin que l'arrosage des champs avoisinants s'opère par le fait seul de la gravitation. On sait que les terres irriguées doivent être situées, non pas au fond des vallées, mais à un niveau moyen, sans quoi elles ne s'égoutteraient pas bien. L'arrosage les convertirait en marécages.

Au nord des bouches de la Tamise, sur le littoral du comté d'Essex, s'étendent, sur 30 kilomètres de long, des bancs de

sable tour à tour couverts et délaissés par la mer à chaque marée. Ils sont connus sous les noms de Dengie-flat et de Maplin ou Foulness-sands. On n'en évalue pas la superficie à moins de 13,000 hectares. Il ne serait pas difficile d'assécher ces sables tout à fait au moyen d'une digue qui les envelopperait de trois côtés ; et si l'on ne l'a pas encore fait, ce ne peut être qu'en raison de l'absolue stérilité qu'auraient les terrains ainsi disputés à la mer. La compagnie se propose d'y prendre un lot de quelques milliers d'hectares, et, après les avoir endigués, d'y verser à flots les eaux d'égout que les agriculteurs n'auraient pas voulu lui acheter. Ce sol aride, imbibé chaque jour par un courant d'eaux grasses, deviendra propre, croit-on, à être cultivé en herbages. On a des motifs de croire que de telles prairies conviendraient mal à l'engrais du bétail ; l'herbe en est trop aqueuse; par compensation elle est favorable à la production du lait. Il y aura là de quoi nourrir autant de vaches laitières qu'en exige la consommation de Londres ; le chemin de fer de South-End en permettra le transport à bon marché.

Ainsi, capter dans un cloaque unique toutes les eaux d'égout enrichies par les déjections de deux millions et demi d'habitants ; les relever à un niveau supérieur pour les faire arriver sur tous les champs qui réclameront ce puissant engrais ; conduire l'excédant que les agriculteurs n'auront pu employer jusqu'au bord de la mer, et fertiliser avec ces liquides ignobles et puants des sables inertes disputés à l'Océan, voilà la très-belle et très-originale solution qui les Anglais viennent d'adopter. Ce qui sort de Londres sous la forme répugnante d'ordures ménagères et de matières stercorales, rentrera en beurre, fromage, lait et autres denrées alimentaires. La mort alimentera la vie. C'est bien là ce qui peut s'appeler fermer le cercle de la nature.

L'expérience qui se poursuit à Londres mérite sans contredit d'être suivie avec attention. Réussira-t-elle comme opération financière ? C'est un point qui n'est, après tout, que secondaire, car l'évacuation des résidus humains est devenue dans nos villes, sans qu'on y prenne garde, un impôt bien autrement onéreux que la dépense dont se charge cette compagnie ; au surplus les évaluations les plus modestes sont encore très-rassurantes. Ce qui est le plus important est le succès hygiénique et économique d'une telle entreprise. Assainir le sol et l'air en restituant à l'agricul-

ture des engrais à bon marché, c'est une heureuse combinaison qui semble concilier les intérêts les plus divers.

La valeur de l'engrais humain en tant que liquide fécondateur n'est plus en question. La compagnie l'a vérifiée, après bien d'autres agronomes, par des essais qu'il est curieux de connaître. Au voisinage du réservoir de Barking-Creek, elle a répandu sur le sol une épaisse couche de sable pur ; puis elle y a versé à profusion le liquide dont il s'agit, et la surface sablonneuse a été ensemencée. L'herbe y a poussé d'une façon merveilleuse, à raison de 10 à 11 centimètres par semaine ; on y a fait sept coupes de fourrages en une année. Les légumes réussissent aussi bien et acquièrent une grosseur surprenante. A voir cette végétation luxuriante, on se croirait transporté sous un autre climat.

On s'est demandé si l'application de liquides infects à l'arrosage des plantes n'aurait pas pour effet d'infuser aux végétaux et à leurs divers produits qui se mangent, par exemple aux légumes, au lait des vaches, au beurre, une saveur ou tout au moins une odeur qui serait une cause légitime de répulsion. Rien ne fait croire que l'objection soit fondée. Le palais le plus délicat ne distingue, dit-on, en ces produits aucune trace de leur origine. Au surplus, ce que l'on sait de la vie des plantes suffit pour écarter toute crainte. La plante se nourrit des éléments qu'elle emprunte au sol, mais en les dénaturant, aussi bien que notre estomac transforme les aliments ingérés. Les substances aspirées par les racines subissent une sorte de digestion, en sorte que l'engrais se décompose en principes nouveaux qui ne ressemblent pas plus à la matière absorbée, que notre chair et notre sang ne ressemblent à nos aliments. Ceci ne cesserait d'être vrai que si l'engrais était fourni sous forme concentrée, comme il n'est que trop d'usage de le faire en notre pays, surtout s'il s'agit de végétaux à tissu lâche et spongieux, où le phénomène d'assimilation se double d'un phénomène d'aspiration capillaire. C'est ainsi que certaines plantes potagères contractent un goût répugnant lorsqu'on leur prodigue l'engrais humain. Cet effet doit se produire moins souvent avec les liquides très-dilués de la méthode anglaise que par l'emploi abusif de la matière fécale à l'état naturel, tel que le pratiquent parfois les maraîchers de nos banlieues, sans autre souci que de développer l'apparence et le volume du produit aux dépens de ses qualités intrinsèques.

En définitive, si la méthode anglaise d'assainissement des villes par l'agriculture n'est pas parfaite, elle est infiniment supérieure aux procédés de purification et de nettoyage qui ont été essayés ailleurs ; elle est surtout un progrès immense en comparaison de la regrettable incurie dont tant de municipalités importantes font preuve en ce qui concerne la salubrité publique. Aussi le gouvernement français a-t-il fait étudier avec une extrême sollicitude par un ingénieur des mines, M. de Freycinet, les enquêtes et les expériences relatives à ce sujet et les diverses applications de la méthode nouvelle qui ont été faites en plusieurs villes de la Grande-Bretagne. Nous n'avons fait que résumer le rapport de cet ingénieur [1]. Les personnes que la question intéresse y trouveront l'exposé complet du drainage de Londres, ainsi que les éléments d'appréciation d'après lesquels la compagnie a calculé ses profits. Les conclusions du savant rapporteur sont bien formelles. « L'application directe de l'eau d'égout à la culture, dit-il, est non-seulement un moyen efficace d'assainissement, mais peut encore devenir une opération lucrative pour ceux qui savent la pratiquer. »

H. Blerzy.

II

EMPLOI DES HUILES MINÉRALES DANS LES CHAUDIÈRES A VAPEUR.

I

Depuis un demi-siècle environ la houille alimente les foyers de nos chaudières à vapeur et c'est à la puissance calorifique de ce combustible que nous devons les progrès si rapides de notre industrie. Il serait pourtant possible de prévoir un arrêt dans cette prospérité, si ce précieux combustible venait à nous man-

[1] *Rapport sur l'emploi des eaux d'égouts de Londres*, par M. Ch. de Freycinet, ingénieur des mines, publié par ordre de S. E. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.

quer, or la consommation de la houille augmente chaque jour, tandis que la production ne suit pas à beaucoup près la même loi ; les difficultés de l'extraction deviennent plus nombreuses à mesure que les bassins sont plus exploités et le prix de la tonne de houille s'élève chaque jour.

Ce combustible, qui nous rend de si immenses services, ne présente-t-il pas cependant de graves inconvénients ? Sans doute et ils se manifestent surtout dans son application aux chaudières des machines marines. Les navires emportent forcément avec eux leur provision de charbon ; et bien que leurs chaudières affectent des formes spéciales, de manière à brûler économiquement un combustible devenu cher, l'importance des magasins à charbon impose des formes et des dimensions toutes spéciales aux steamers actuels. Le *Great-Eastern*, véritable merveille de l'architecture navale, n'a reçu ses immenses proportions qu'à cause de la capacité énorme réservée aux soutes à charbon. Ce vaisseau devait se rendre en effet sans escale d'Angleterre aux Indes, et pour cela la première condition était qu'il pût emporter avec lui la houille nécessaire à un aussi long trajet. Tout calcul fait, on a trouvé qu'il fallait un vaisseau de 22,000 tonnes, dont 10,000 seraient consacrées au charbon. Ainsi un tel navire devait prendre en combustible la moitié environ de son tonnage complet. Cette proportion est considérable. Il est vrai qu'elle est quelque peu diminuée pour les steamers ordinaires : Le *Persia* de 3500 tonnes, un des plus beaux steamers atlantiques, charge 1400 tonnes de charbon, et le *Warrior*, un des plus remarquables vaisseaux cuirassés de la marine anglaise, accumule 1000 tonnes de charbon sur un tonnage brut de 6000 tonnes.

En appliquant ces chiffres aux vaisseaux de la marine militaire, on est préoccupé du faible rôle de la marine à vapeur : le chargement en combustible d'un navire de guerre ne correspond en moyenne qu'à dix jours de navigation. Une escadre à vapeur n'aurait donc jamais une grande importance, puisque chaque semaine elle serait forcée de regagner la côte. Elle ne pourrait combattre que dans les petites mers ; le service de l'Océan au delà des côtes lui serait interdit. La marine des États européens, pour ne pas se borner à un rôle aussi circonscrit, encombre ses vaisseaux de cordages, de mâts, etc., c'est-à-dire de tous les engins des navires à voiles. Lorsque le combustible est épuisé,

les marins ont aussitôt recours à ces indispensables auxiliaires, qui transforment rapidement le navire à vapeur en un navire à la voile.

Le chauffage des chaudières de la marine au moyen de la houille est encombrante, lourde, donnant malgré les nombreux perfectionnements imaginés, une grande quantité de fumée, qui empêche les navires de se dérober, en temps de guerre, à l'attention de la flotte ennemie présente donc de graves inconvénients. Enfin, comme dans toutes les autres machines, la houille est actuellement un combustible d'un prix élevé, et l'industrie aurait un grand intérêt à utiliser un chauffage moins cher, plus commode à entretenir et à régler.

Le nouveau combustible qu'on essaye de lui substituer est l'huile de pétrole, ou plus généralement les huiles naturelles ou celles qui résultent de la distillation de certains combustibles minéraux. Un grand nombre d'essais divers ont été tentés pour l'emploi de ces huiles minérales : actuellement il s'agit de leur application à la production de la vapeur d'eau dans les chaudières des machines à vapeur. Les avantages paraissent immenses, surtout pour les chaudières marines. L'approvisionnement en combustible tiendra beaucoup moins de place : l'expérience a déjà démontré que pour obtenir les mêmes effets sur un navire, il suffirait d'un volume de pétrole égal au tiers environ du volume de la houille. Si donc on ménage au nouveau combustible le même emplacement qu'à l'ancien, la traversée pourra être trois fois plus longue. Dans le cas où la traversée resterait la même, avec le même chargement en pétrole, on pourrait augmenter la force des machines et par suite le fret commercial, et réaliser ainsi un plus grand bénéfice.

Non-seulement ce nouveau combustible est moins encombrant que la houille, mais encore il est plus facile à emmagasiner à bord des navires, parce qu'il se présente à l'état liquide. Il est de plus très-facile à employer. L'introduction dans le foyer se fait automatiquement, ce qui diminue le personnel si nombreux utilisé pour le chauffage des chaudières marines actuelles, et permet de mettre ces chaudières en feu presque immédiatement, ou de les arrêter en quelques instants.

De l'emploi du pétrole dans les chaudières à vapeur résultera donc une révolution complète dans la marine militaire et dans la marine marchande. Aussi n'est-il pas étonnant de voir les Américains,

les Anglais et les Français chercher, surtout depuis la découverte des sources importantes de pétrole, l'application de ce liquide au chauffage des chaudières marines. Mais la grande et sérieuse difficulté que rencontrent les inventeurs pour faire adopter les différents systèmes qu'ils ont proposés, réside presque en entier dans la crainte des incendies. Combien serait épouvantable en effet un incendie de pétrole sur un navire? On n'a pas oublié qu'il y a quelques années à peine, il a fallu renoncer, malgré l'économie sensible, à l'emploi de l'éther et du chloroforme, après deux ou trois sinistres en mer. L'inflammabilité de ces huiles constitue un péril permanent pour les entrepôts où elles sont emmagasinées, et où trop souvent l'incendie a déjà éclaté, menaçant de se propager au loin. Nous n'exagérons pas, en déclarant que les dépôts de pétrole offrent plus de dangers que les magasins à poudre.

Des ingénieurs ont imaginé des réservoirs nouveaux dans lesquels pourraient être conservées les huiles de pétrole avec sécurité. Mais ces appareils n'ont pas encore reçu la sanction d'une expérience assez longue pour qu'on puisse les placer en toute confiance sur les navires. D'autres inventeurs ont préparé des moyens prompts de combattre l'incendie : dans un récipient on met du carbonate de chaux et au-dessus un vase contenant de l'acide sulfurique. Ces deux vases sont réunis par un bouchon en métal fusible. Si la température s'élève trop, le bouchon fond, l'acide sulfurique tombe sur le carbonate de chaux et produit un dégagement d'acide carbonique qui arrête les progrès du feu. Nous croyons préférable de rechercher les moyens d'éviter les incendies, plutôt que les procédés qui auraient pour but de les arrêter quand une partie du navire serait déjà devenue la proie des flammes.

Pour augmenter en France l'emploi de ces pétroles il conviendrait sans doute d'adopter les règlements édictés en Amérique, qui défendent de livrer à la consommation des pétroles donnant des vapeurs inflammables lorsqu'ils sont portés à la température de 43°,5, ou à une température inférieure. Nous importons malheureusement en France des pétroles qui n'ont pas subi l'épreuve américaine, et ils sont l'occasion de sinistres terribles et fréquents.

L'emploi du pétrole comme combustible industriel présenterait

donc à n'en pas douter une importance capitale, mais avant de rallumer les travaux importants qui ont eu pour but de fixer la puissance calorifique, et les dispositions les plus favorables à son emploi, il convient d'examiner comment l'industrie pourra s'en procurer des quantités suffisantes.

En 1832, on découvrait des schistes bitumineux dans le bassin d'Autun, et un pauvre artisan, Selliguer, imagina les premiers appareils de distillation et d'épuration. Les huiles minérales furent d'abord employées à l'éclairage, et la priorité de cette application revient incontestablement à la France. Les premiers essais ne furent pas heureux. Il fallait avoir recours à des lampes spéciales, desquelles se dégageait, pendant la combustion, une odeur très-désagréable. Les schistes eux-mêmes n'étaient pas très-riches, et on ne trouvait pas un débouché suffisant pour les produits qu'on en retirait. — Les usines, que de trop grands sacrifices avaient ruinées, furent abandonnées. — Après quelques années d'intervalle, cette industrie put se monter de nouveau avec succès. On trouva, après des améliorations apportées à ce mode d'éclairage, des consommateurs parmi les ouvriers, et en 1850 les usines créées récemment ne pouvaient déjà plus suffire aux nombreuses demandes. Ces usines exploitaient alors les lignites des Alpes, les schistes bitumineux d'Autun, de Vagnas, dans l'Ardèche, de Bazière-la-Grue, dans l'Allier, de Fréjus, dans le Var, et enfin les sables pétrolifères de Schawabviller, de Lobsann et de Bechelbronn dans le Bas-Rhin.

L'importance de ces exploitations augmenta jusqu'en 1863, année où les pétroles d'Amérique furent importés en France pour la première fois. Le bas prix du pétrole, qui diminue encore chaque année, rendit la concurrence française impossible, et une seconde fois l'industrie des huiles minérales fut délaissée. Cette industrie en France se relèvera certainement de ce coup, et dans un temps qui n'est peut-être pas très-éloigné. Les ingénieurs cherchent en effet à perfectionner les procédés de fabrication, à construire des appareils spéciaux, à utiliser tous les produits accessoires, et à produire en grande quantité de manière à produire à bon marché. Un grand nombre de matières premières peuvent produire les hydrocarbures liquides. Parmi ces substances, nous citerons la houille, les schistes bitumineux, les bogheads, les sables pétrolifères, les pétroles naturels, les lignites et les tourbes,

combustibles qui tous se rencontrent en France. D'après M. Coigniet, en admettant qu'aucun gisement nouveau ne soit découvert, la France peut produire actuellement 1,080,000 tonnes par an d'huile de schiste brute, au prix maximum de 100 fr. pris au lieu d'extraction. Le succès de ce nouveau mode de chauffage ne pourra être assuré dans certains pays, que lorsque nous ne serons plus tributaires des pétroles d'Amérique. Dans Oil-Creek, lieu de production le plus important, le pétrole est vendu 7 fr. 50 les 100 kilogr., et quand il arrive au Havre le transport a élevé ce prix à 32 fr. Les steamers européens qui vont en Amérique peuvent dès maintenant trouver une économie notable en chauffant au départ à la houille et en brûlant au retour le pétrole acheté sur les lieux de son extraction. En Amérique en effet, si l'huile de pétrole peut se substituer à la houille, elle y est assez abondante pour pouvoir la remplacer.

II

Une commission américaine chargée de suivre les premières expériences faites sur l'emploi du pétrole, avait annoncé que ces huiles produiraient, à poids égal, une quantité de vapeur double environ de celle produite par l'anthracite. Les Américains ont pu se contenter jusqu'ici de cette proportion approchée, avec laquelle ils poursuivent leurs essais. En France on a pensé différemment, et les savants se sont mis à l'œuvre pour déterminer très-exactement le pouvoir calorifique du nouveau combustible, de même qu'on avait déterminé avec beaucoup de soin le pouvoir calorifique des différentes sortes de houille.

M. Henri Sainte-Claire Deville s'est procuré un grand nombre d'échantillons d'huiles minérales de toute sorte pour les soumettre à l'analyse. Ces huiles sont essentiellement composées de carbone qui y entre en très-grande proportion, d'hydrogène et d'oxygène. Les différentes analyses faites sur des huiles brutes et sur des huiles distillées ont donné les résultats moyens suivants :

	Pour 100.
Carbone.	de 83,6 à 86,9
Hydrogène.	de 11,2 à 14,7
Oxygène.	de 3,2 à 3,2

Dans les huiles lourdes de la Compagnie parisienne du gaz, qui sont extraites de la houille, on a trouvé en outre de l'azote et du soufre.

M. Sainte Claire Deville a étudié en même temps les propriétés physiques de ces huiles. La densité à la température de 0° varie entre 0,786 et 0,925 et leur coefficient de dilatation est compris entre 0,00072 à 0,000868.

Le coefficient de dilatation est utile à connaître. En effet, ce coefficient est très-grand. Si donc on introduit ces huiles dans des vases parfaitement remplis à une certaine température, et que dans le transport, par une cause quelconque, une élévation sensible de la température se manifeste, une explosion des parois du vase pourra se produire par suite de la grande dilatation du liquide. Les ingénieurs devront calculer, en fonction du coefficient de dilatation, l'espace libre à ménager au-dessus du liquide, dans les caisses qui serviront au transport.

Mais la détermination la plus intéressante pour la pratique est celle du pouvoir calorifique des huiles combustibles. Quel est le nombre de calories qui exprime le pouvoir calorifique absolu, et combien de kilogrammes d'eau peut vaporiser 1 kilogramme de ces substances? C'est de ces résultats comparés aux prix de vente, que dépend le sort industriel des huiles de pétrole et autres. L'appareil calorimétrique adopté pour cette détermination a été installé au laboratoire de l'École normale. M. Sainte-Claire Deville a combiné les méthodes calorimétriques de MM. Favre et Silbermann avec un système nouveau de M. Paul de Mondésir, de manière à pouvoir construire de petits appareils qui donneront promptement le pouvoir calorifique des huiles minérales destinées au chauffage des chaudières industrielles.

Comme nous l'avons déjà fait observer, les matières volatiles et explosibles contenues dans les huiles minérales constituent un grand danger pour leur application industrielle; on pourra, d'après M. Sainte-Claire Deville, se rendre facilement compte de ce danger en mesurant la quantité de matière passée à la distillation avant 140°. — Le principe des essais dirigés par ce savant consiste à distiller les huiles minérales dans un alambic en cuivre muni d'un serpentin. La vapeur est produite dans un générateur tubulaire, de 6 chevaux. La température de la vapeur est donnée un moment quelconque par un thermomètre. Le degré de vo-

latilité de l'huile soumise à la distillation s'obtient en notant la quantité de matière distillée entre deux températures convenablement choisies.

La combustion des gaz produits dans les expériences est très-complète, puisque la fumée est incolore. L'air est lancé dans les foyers où se produit cette combustion à l'aide d'une petite machine soufflante, réglée par un appareil électro-magnétique; il pénètre ainsi toujours à la même pression et avec une vitesse invariable, presque tout l'oxygène de cet air est utilisé à la combustion dont les résultats sont de l'eau et de l'acide carbonique.

Les analyses et expériences de M. Sainte-Claire Deville ont démontré l'importance du refroidissement parfait des produits de la combustion des huiles minérales. Ces huiles sont presque toutes très-riches en hydrogène; si on condense leur fumée, on obtient un poids d'eau pure très-sensible, et le refroidissement de cette eau produit une élévation de température dont on peut profiter pour chauffer l'eau d'alimentation. Notons aussi l'importance de ces résultats pour les chaudières marines; l'eau ainsi obtenue étant de l'eau distillée, il n'y a aucune crainte de dépôts salins sur les tubes des chaudières, ce qui arrive trop promptement avec l'eau de mer.

Les mêmes expériences confirment, pour l'alimentation de la chaudière, l'inutilité d'un chauffeur. Le combustible et la quantité d'eau nécessaire à la combustion s'introduisent d'eux-mêmes, et il est très-facile de régler leur introduction dans le foyer.

M. Sainte-Claire Deville étudie donc en ce moment les propriétés des huiles minérales au double point de vue de la science et de l'industrie. Le laboratoire de l'École normale fournit à ce savant tous les documents qui intéressent la science et sans lesquels la pratique ne pourrait marcher qu'au hasard. Des expériences faites sur des machines marines et sur des machines locomotives ont donné lieu aux premières applications industrielles de ces résultats. La chimie et la physique ont été d'abord mises à contribution, la mécanique ensuite indiquera quels sont les appareils à employer pour obtenir dans les meilleures conditions les plus grands effets de la combustion des huiles minérales.

III

Les premiers essais du pétrole au chauffage des chaudières ont été tentés aux États-Unis sur des machines marines. M. Édouard John Biddle de New-York a pris un brevet en juillet 1862, pour un appareil à la fois simple et ingénieux. L'huile combustible est enfermée dans plusieurs récipients en fer, solidement fixés à fond de cale, et communiquant entre eux par la partie inférieure de manière à présenter toujours le même niveau. Une pompe aspirante et foulante élève le liquide dans un réservoir intermédiaire, d'où il pénètre dans les chaudières par leur base. L'huile s'introduit régulièrement à l'aide de robinets, et se déverse sur une corbeille métallique contenant du coke enflammé. Le pétrole s'enflamme à son tour, et se distribue sur la sole au moyen de rigoles. La flamme chauffe la partie inférieure des chaudières, dont elle élève la température jusqu'au point d'ébullition de l'eau. Afin de fournir, pendant la combustion des hydrocarbures, les quantités d'oxygène nécessaire, l'inventeur a disposé dans les environs des points où l'huile s'enflamme, des tuyères qui lancent l'air en grande quantité. On obtient alors une flamme allongée, et les gaz parfaitement brûlés s'échappent à la partie supérieure dans une cheminée d'appel sans laisser aucun dépôt dans les carneaux. M. Biddle a muni ses chaudières de plusieurs appareils de sûreté. Il enveloppe tous les orifices d'une toile métallique, afin d'empêcher la flamme de sortir de la boîte à feu. En outre pour éviter les explosions, ou au moins pour en atténuer les effets, les réservoirs placés dans la cale sont munies de soupapes qui les mettraient promptement en communication avec l'atmosphère[1].

Une disposition différente a été imaginée peu de temps après par M. John Livington Linton. En principe, sa chaudière peut être appliquée à toutes les machines motrices. Nous décrivons ici le type proposé pour les machines locomotives. L'huile minérale s'introduit dans le foyer par la partie supérieure. Nous pourrions, au point de vue de l'introduction du combustible, appeler la machine

[1] Nous devons la plupart des renseignements contenus dans ce paragraphe à M. Soulié, ingénieur civil, auteur de *l'Emploi des pétroles*. — Lacroix.

de M. Biddle, une machine en dessous, tandis que celle de M. Linton serait une machine en dessus. Les réservoirs sont placés au niveau de la chaudière et le pétrole est élevé à l'aide d'une pompe dans un récipient de distribution. De là le combustible pénètre par le haut de la chaudière, s'écoule dans le bas sur de petites capsules qui projettent le liquide dans une série de vases hémisphériques en fonte qui constituent le foyer et remplacent la sole plane des foyers ordinaires. Ces calottes voisines les unes des autres sont remplies de charbons incandescents sur lesquels le pétrole, tombant en minces filets liquides, s'enflamme, et chauffe ensuite l'eau contenue dans la chaudière en passant à travers la garniture tubulaire. Le vase intermédiaire étant, dans les locomotives, voisin du foyer, est muni d'un tube de sûreté permettant le dégagement à l'extérieur des vapeurs du pétrole dans le cas où elles se formeraient en trop grande abondance.

Les deux systèmes de chaudières que nous venons de décrire présentent de grands dangers. Nous y trouvons les premiers jalons d'un système nouveau qui, avant d'être appliqué, surtout sur les navires, doit recevoir d'importants perfectionnements. Que deviendrait en effet le navire, si le pétrole, se répandant en trop grande quantité sur la sole à cause de soudures mal faites, ou du métal brûlé, se déversait en un torrent de flammes à l'extérieur de la chaudière. De plus, les vapeurs de pétrole, qui échappent à la combustion, répandent dans la cale, et peuvent former avec l'air atmosphérique des mélanges explosifs. Les Américains seuls ont la témérité de proposer des projets aussi dangereux, et de s'y exposer avec trop de légèreté.

Les ingénieurs de la marine américaine, dans le compte rendu de ces dernières expériences, ont déclaré :

1° Que le volume de la flamme remplissait dans toute leur étendue les tubes de la chaudière, et chauffait la cheminée au rouge, à plusieurs pieds au-dessus de sa base.

2° Que le temps nécessaire pour engendrer la vapeur d'eau à une atmosphère et demie de pression a été pour l'huile de 28 minutes, et pour le charbon, 60 minutes, ce qui donne à l'huile un avantage de 114,3 pour 100.

3° Qu'il n'a fallu que 16 secondes pour la complète extinction des feux en pleine activité.

L'Angleterre, qui plus qu'aucune autre nation européenne est intéressée au succès de ce nouveau combustible, a bientôt suivi l'Amérique dans la voie des essais. M. Richardson a construit un foyer très-simple composé d'une grille métallique recouverte de matières poreuses, telles que l'asbeste, la pierre ponce, des fragments de briques, de la chaux, du charbon, etc. Le pétrole pénétrant par la partie inférieure s'infiltre à travers les masses poreuses et l'air nécessaire à la combustion pénètre aussi par le bas. Un jet de vapeur lancé dans la flamme sert à activer le tirage. Ce système est surtout destiné aux machines marines. A première vue, cette chaudière paraît difficile à régler et sujette à de nombreuses réparations, qui arrêteraient chaque fois la marche de la machine.

Pour les chaudières des locomotives, M. Bridge Adams, de Londres, a pris un brevet qui nous paraît très-intéressant. Le pétrole est enfermé dans un réservoir hermétiquement fermé. Deux tubes partent de ce réservoir pour se rendre au foyer, mais, tandis que l'un des tubes plonge jusqu'au fond du récipient, l'autre n'aboutit qu'à la surface supérieure. Une pompe comprime l'air contenu dans le haut du récipient, au-dessus du pétrole. En vertu de cette pression, l'huile monte par le premier tube et se rend dans le foyer, où l'air qui s'échappe par le second tube parvient en même temps. A l'aide de ce dispositif très-simple, on lance donc à la fois dans le foyer l'air et le pétrole, dont on peut régler les proportions relatives au moyen de robinets pratiqués dans les deux tubes d'introduction. Le fond de la boîte à feu reste clos et reçoit des fragments de coke enflammés pour brûler le pétrole. M. Bridge Adams recommande particulièrement l'emploi de cette chaudière sur les lignes qui ont des tunnels comme le Métropolitain-railway à Londres. L'absence de fumée et de gaz délétère a en effet dans ce cas une grande importance.

En France, les premières applications des huiles combustibles aux machines à vapeur remontent à l'année 1865. M. P. Audoin, ingénieur civil, a utilisé la flamme des huiles lourdes de goudron pour la production de la vapeur, dans l'usine à goudron de la Villette. Ces expériences, interrompues d'abord, ont été reprises à l'occasion de l'Exposition universelle de 1867, où figurait un appareil destiné à produire la vapeur ou à obtenir les températures les plus élevées qui aient été encore employées dans l'industrie.

La chaudière expérimentée par M. Audoin était une chaudière à foyer intérieur avec retour de flamme, de la force de vingt chevaux. La plaque de fonte dont était munie l'entrée du cylindre intérieur formant foyer avait été remplacée par un carreau réfractaire d'une seule pièce, et le cylindre lui-même, depuis cette porte jusqu'à une distance de 75 centimètres environ, était garni d'un rouleau de briques réfractaires posées de champ. L'huile combustible est introduite par douze robinets disposés au-dessus du carreau réfractaire, et mis en présence de fentes verticales par lesquelles pénètre l'air nécessaire à la combustion. D'après M. Audoin, on obtient, dans cet appareil, avec des huiles lourdes de houille ou de pétrole, un rendement de 12 à 15 kilogrammes d'eau évaporée par kilogramme d'huile brûlée.

MM. Dupuy de Lôme et Sainte-Claire Deville ont employé ce nouveau combustible, au commencement de cette année, sur le yacht impérial *le Puebla*. Les modifications faites à l'ancienne chaudière de ce navire sont très-simples. La porte du foyer ayant été supprimée, est remplacée par des barreaux verticaux en fonte; la grille horizontale est transformée en une grille verticale composée de tubes qui servent à l'introduction de l'huile minérale. Pour augmenter le tirage qui, eu égard à la faible hauteur de la cheminée, devient insuffisant, il a fallu recourir à un ventilateur, seulement pour enflammer le combustible. La machine une fois en marche, le ventilateur est inutile, parce que le tirage est augmenté par l'échappement de la vapeur dans le tuyau de la cheminée. La machine de ce bateau est une machine à haute pression, sans condensation, de la force de 60 chevaux. Ces essais ont été très-satisfaisants : l'arbre de l'hélice a reçu une vitesse de 242 tours avec une consommation de 96 kilogrammes d'huile à l'heure, et, résultat important, sans fumée aucune. M. Dupuy de Lôme a chargé M. Mazzeline d'étudier, d'après ces premières indications, une chaudière marine disposée spécialement pour y brûler les diverses sortes d'huiles minérales.

De son côté, M. Sainte-Claire Deville a voulu généraliser l'application des huiles de pétrole en l'étendant au chauffage des chaudières des machines locomotives. — Il est facile de prévoir que lorsque ce mode de chauffage aura réussi dans une chaudière donnée, on parviendra, à l'aide de modifications simples, à adapter le système à toutes les chaudières à vapeur. Ces modifi-

cations doivent pourtant être étudiées par des ingénieurs spéciaux, et M. Sainte-Claire Deville a trouvé au chemin de fer de l'Est un intelligent collaborateur dans M. Dieudonné, ingénieur attaché à cette compagnie. La machine locomotive expérimentée par la ligne de l'Est, est une machine à voyageurs, petit type, de la force de 250 chevaux. Les essais devaient être dirigés de manière à ne pas compromettre la machine, en cas d'insuccès : il a donc fallu opérer avec beaucoup de prudence et d'économie. La porte du chargement a été conservée, mais elle ne peut servir qu'à l'entretien de la tubulure. L'huile est contenue dans un réservoir placé sur la machine : on a eu le soin d'isoler ce réservoir de la chaudière à l'aide d'un canal percé de trous dans lesquel l'air circule constamment. De ce récipient l'huile s'écoule de l'avant du foyer dans le tube d'introduction, qui se divise en deux branchements, et la vitesse d'écoulement se règle facilement à l'aide d'un robinet extérieur. Des deux branchements l'huile se déverse dans un tube horizontal double, c'est-à-dire composé de deux tubes cylindriques engagés l'un dans l'autre; vingt ajutages sont percés sur le tube extérieur qui reste fixe, et vingt trous sont disposés en correspondance sur le tube intérieur qui est mobile. A l'aide d'un mécanisme très-simple et très-ingénieux on démasque plus ou moins ces lumières en faisant tourner le tube intérieur, d'où résulte dans la chaudière un écoulement plus ou moins grand. Vingt barreaux, espacés de 12 millimètres et toujours enveloppés d'air, laissent pénétrer la quantité d'oxygène nécessaire à la combustion, et empêchent que la grille ne se brûle. La distribution d'air peut d'ailleurs être réglée comme la distribution d'huile, à l'aide d'un clapet qui produit au besoin une fermeture hermétique. La portion du foyer où brûle l'huile de pétrole doit être garnie de briques réfractaires ; dans l'intérieur du foyer, on a disposé un brise-flammes, qui oblige le gaz à se rendre dans les tubes de la chaudière. Les expériences qui ont eu lieu dans le courant du mois de juillet dernier, sur un train allant de Châlons au camp, ont démontré clairement que la quantité de vapeur produite avec les huiles minérales était plus considérable que celle produite avec le même poids de houille. La conduite de la machine est beaucoup plus facile et plus régulière. La manœuvre des robinets placés sous la main du chauffeur suffit pour l'alimentation du foyer ; le mécanicien peut

donc à chaque instant régler la quantité de chaleur qui se développe dans le foyer, et par suite la quantité de vapeur lancée dans les cylindres. L'emploi de ce combustible supprime presque complétement le nettoyage de la tubulure intérieure, des grilles du foyer, de la boîte à fumée, etc. Enfin, cette machine à voyageurs, du poids de 22 tonnes, a remorqué 90 tonnes, avec une vitesse moyenne de 60 kilomètres à l'heure.

Les diverses chaudières que nous venons de décrire, et les résultats qui ont été obtenus démontrent que l'emploi des huiles minérales pour la production de la vapeur n'est pas seulement un problème à l'étude, mais un problème qui a reçu déjà plusieurs solutions, et qui n'a plus besoin que de quelques perfectionnements de détail pour être complétement résolu. Les avantages que fournissent ces nouveaux combustibles sont trop nombreux, pour qu'on ne s'occupe pas très-activement de triompher des petits inconvénients que donne encore leur usage. Bientôt, nous en avons la conviction, le plus grand nombre des chaudières, et d'abord les chaudières marines, seront chauffées à l'huile de pétrole.

P. Schwæblé.

III

LAMPE SOUS-MARINE DE MM. LÉAUTÉ ET DENOYELLE.

La question de l'éclairage sous-marin prend d'année en année une plus grande importance et les perfectionnements qu'ont subis les procédés en usage étaient réclamés par l'emploi plus fréquent des plongeurs dans les divers travaux qui s'exécutent au-dessous de la surface de l'eau. Ces travaux que l'on s'efforçait autrefois d'éviter sont devenus usuels, et leur utilité n'est plus contestée : la question de l'emploi des scaphandres ou autres appareils destinés à permettre à l'homme de travailler sous l'eau n'est pas celle que nous voulons traiter, et nous ne pouvons même indiquer les cas nombreux et variés dans lesquels ces appareils peu-

veut rendre de signalés services. Nous nous bornerons à étudier un nouvel instrument destiné à faciliter les conditions du travail sous-marin, à éclairer l'ouvrier et à doubler le temps pendant lequel ce travail est possible, ce qui, dans un grand nombre de cas où l'urgence est incontestable, est d'un immense intérêt.

Depuis longtemps déjà on a recherché les moyens de se rendre compte de l'état de murailles ou de charpentes placées sous l'eau dans des conditions où de trop faibles quantités de lumière arrivaient pour permettre de distinguer nettement ce que l'on voulait voir. C'est ainsi que l'on décrit, dans tous les cours et les ouvrages se rapportant aux travaux effectués dans les ports de mer ou sur les fleuves, une espèce de lunette munie, à son extrémité inférieure, d'une lanterne, et que l'on dirige sur les points de l'état desquels on veut s'assurer. Nous ne croyons pas que cette lunette ait été fréquemment employée ; en tout cas, le tube rigide qui la constitue presque uniquement limitait son emploi à de faibles profondeurs. Les scaphandres l'ont fait abandonner complétement, puisqu'ils permettent à l'ouvrier de s'approcher à volonté de toutes les parties submergées et rendent inutile la vision à distance. Quelque rapproché que l'on soit d'un objet, on n'a cependant aucune notion sur ce qu'il peut présenter de particulier, s'il n'est pas éclairé suffisamment. Outre que la quantité de lumière transmise par l'eau peut être très-faible, par exemple, si ce liquide contient en suspension des matières solides quelconques, on peut avoir à exécuter ces recherches soit pendant la nuit, soit en des parties dans l'ombre et presque complétement obscures. On s'est donc préoccupé d'avoir des sources de lumière que l'on pût transporter à volonté et partout où les besoins du travail l'exigeraient. Jusqu'à présent les appareils employés se rapportaient à deux types distincts ; dans le premier, un réservoir présentant au moins une paroi en glace épaisse contenait une lampe d'un modèle quelconque ; ce réservoir était alimenté d'air par le moyen d'un tube aboutissant à une pompe foulante mue à bras d'hommes ; l'air introduit en excès s'échappait, en entraînant les produits de la combustion, par une soupape se manœuvrant automatiquement sous l'excès de pression. La lampe, en un mot, brûlait dans les conditions où elle eût brûlé dans l'atmosphère, sauf une augmentation de pression : il y a, comme on le voit, la plus grande analogie entre cette lampe et le scaphandre

lui-même : les phénomènes physiques et les phénomènes chimiques sont les mêmes de part et d'autre. On conçoit les inconvénients de ce système qui nécessitait, outre la présence continuelle d'un tube d'arrivée de l'air, la manœuvre constante d'une pompe et par suite une dépense notable résultant du travail nécessaire à son fonctionnement.

La lumière électrique fut préconisée à diverses reprises et pour des usages variés, et permet, en effet, l'éclairement intense du point où le travail s'effectue. Parmi les appareils destinés plus spécialement à être employés sous l'eau, on peut citer les modèles qui ont été construits par M. Perrin. Mais, il faut bien l'avouer, l'électricité n'est pas encore entrée complétement dans la pratique ; les appareils qu'elle met en action sont toujours un peu plus délicats qu'il ne faudrait pour être employés dans un chantier : leur prix est élevé, et la production même du courant est une cause de dépense, outre que l'entretien d'une pile semble assujettissant ; ces inconvénients peuvent être évités en partie par l'emploi de courants d'inductions : mais il n'y a avantage réel que pour de fortes actions. Enfin, il n'y avait pas jusqu'à la nécessité de la présence des fils qui fait communiquer la source d'électricité à la lampe qui ne fût considérée comme fâcheuse.

MM. Léauté et Denoyelle, dans le modèle de lampe sous-marine qu'ils ont présenté à l'Académie des sciences, le 6 juillet 1868, se sont efforcés d'éviter les inconvénients que nous venons de signaler. La lampe qu'ils ont fait construire est une lampe modérateur brûlant dans un courant d'oxygène comprimé, fourni par un réservoir porté par l'appareil lui-même qui se trouve ainsi, s'il est nécessaire, complétement isolé. L'appareil se compose de deux parties distinctes : le pied, auquel est fixé un réservoir dont les dimensions seraient déterminées par la durée nécessaire de la combustion ; ce réservoir est rempli, au préalable, d'oxygène à une pression qui avait été de 5 atmosphères pour les premiers essais, mais que l'on pense pouvoir augmenter ; des masses en fonte ou en plomb, servant de lest, assurent la stabilité de l'appareil ; la lampe, qui est à système modérateur, est placée dans une cage à parois latérales en glace, et dont les fonds inférieur et supérieur sont reliés par des traverses métalliques munies de boulons. La mèche, au niveau de la flamme, est comprise entre deux petits tuyaux circulaires percés d'un grand nombre de petits

trous par lesquels arrive l'oxygène qui assure la combustion complète. Ces tuyaux sont mis en communication avec le réservoir à gaz comprimé par le moyen d'un tube en laiton muni d'un robinet. Pour assurer les moyens de régler les dimensions de la flamme, et par suite l'intensité de la lumière, on peut manœuvrer, à l'aide de boutons extérieurs, la mèche et le robinet d'introduction du gaz.

Ce modèle a été soumis déjà à de nombreuses expériences et peut marcher pendant trois quarts d'heure ; c'est le résultat moyen, et MM. Léauté et Denoyelle espèrent pouvoir le dépasser. La lampe a fonctionné parfaitement devant l'Académie et dans une expérience faite sur la Seine dans l'écluse de la Monnaie, en fournissant beaucoup plus de lumière qu'il n'est nécessaire pour des travaux de sauvetage.

On a reproché souvent à l'École polytechnique de ne fournir que des théoriciens ; ce reproche, si c'en est un, n'est pas toujours fondé, ainsi que le montre l'invention de cette lampe sous-marine due à de jeunes élèves qui n'avaient pas même terminé leurs derniers examens.

C.-M. Gariel.

IV

LES NOUVEAUX PUITS TUBULAIRES AMÉRICAINS OU PUITS INSTANTANÉS.

On a beaucoup parlé cette année de la découverte des *puits instantanés*, qui a été d'abord attribuée à un Américain, M. Norton, et que différents inventeurs ont ensuite réclamée. Sans nous occuper de questions d'antériorité, il nous suffira de dire que le système est très-ingénieux puisqu'il permet de faire jaillir de l'eau à la surface du sol dans un espace de temps restreint ; le nouvel appareil, pour n'être pas merveilleux, n'en est pas moins très-remarquable, et les quelques centaines de curieux qui se sont donné rendez-vous au commencement de l'année qui vient de

s'écouler, l'ont vu fonctionner pour la première fois à Paris avec un légitime étonnement : deux ouvriers armés d'outils très-simples, travaillèrent à enfoncer dans le sol un tuyau métallique de 8 à 10 mètres de long, et ils parvinrent à le faire disparaître dans la terre en une demi-heure ; une pompe fut adaptée à sa partie supérieure, et tout à coup, une eau abondante et pure se mit à jaillir comme sous les ordres d'un nouveau Moïse, sans qu'il ait été nécessaire d'enlever la plus petite quantité de matériaux.

Le principe sur lequel repose le nouveau système est tellement simple, et tellement élémentaire, qu'il est à peine nécessaire d'en faire mention. On sait que dans un grand nombre de terrains il existe des couches d'eau souterraines à une faible distance sous nos pas, comme le prouvent les puits ordinaires, qui n'atteignent généralement qu'une petite profondeur ; supposons qu'une nappe liquide existe par exemple à 10 mètres au-dessous de la surface du sol ; il s'agit tout simplement d'enfoncer dans la terre un tube étroit qui pénètre jusqu'au sein du réservoir naturel, et d'adapter une pompe à sa partie supérieure.

Voici comment on procède à l'exécution de ces nouveaux puits ; on dispose sur le terrain une plate-forme solidement fixée par trois pieds de bois, et percée d'un trou dans lequel s'engage le tube métallique qui doit disparaître dans le sol ; ce tube aux parois très-épaisses a un diamètre intérieur de 35 millimètres et une hauteur de 3 à 4 mètres ; à sa partie inférieure il est percé de trous sur une hauteur de 50 centimètres environ ; il est enfin terminé par un cône d'acier très-bien trempé. On le frappe violemment au moyen d'un marteau pilon suspendu par deux cordes qui s'engagent dans les gorges de deux poulies ; ce marteau pesant, que deux hommes peuvent facilement faire agir, pourrait endommager le tube, s'il le choquait directement à sa partie supérieure ; aussi est-il disposé de manière à agir sur un anneau circulaire solidement fixé au tube par des boulons ; on déplace et on remonte cet anneau à mesure que le tube s'enfonce, et l'opération conduite par deux ouvriers habiles, s'exécute avec une très-grande rapidité. Quand le premier tube a presque entièrement disparu dans la terre, on y visse à sa partie supérieure un autre tube, et on recommence la même manœuvre ; une fois arrivé à une certaine profondeur, on descend dans la cavité intérieure une petite sonde formée d'une pierre attachée à une corde,

et en examinant si elle revient sèche ou mouillée, on voit si l'on a atteint ou non la couche d'eau. Quand la partie inférieure et percée du tube a pénétré dans la nappe liquide souterraine, le travail est terminé, et on adapte alors une pompe à sa partie supérieure ; on fait manœuvrer la pompe qui ramène d'abord à la surface du sol une eau trouble et bourbeuse par suite du mouvement de terre déterminé par l'enfoncement du cylindre métallique; après une heure ou deux, on obtient une onde fraîche et limpide. Il va sans dire que si l'eau a une force ascensionnelle suffisante pour jaillir au niveau du sol, on a formé un puits artésien et la pompe devient inutile.

L'opération s'exécute généralement sans difficulté ; cependant, si le tube rencontre un obstacle très-résistant, comme un rognon de silex, il faut l'arracher et l'enfoncer ailleurs ; mais dans la plupart des cas, en raison de son petit diamètre, il repousse les obstacles de côté et arrive, neuf fois sur dix, à la profondeur voulue. L'expérience exige en moyenne une heure de travail, et le tube de 10 mètres avec sa pompe est d'un prix très-modéré (250 fr.), ce qui permet de faire des essais souvent fructueux dans les exploitations agricoles. Un puits ordinaire nécessite de grands embarras ; il faut creuser le sol et enlever la terre, garnir le trou lentement foré d'un mur de maçonnerie, et si l'eau ne se rencontre pas, la dépense est complétement infructueuse. Grâce au nouveau système, on peut partout rechercher l'eau à peu de frais, sonder le sol avec une grande facilité, et dans le cas où l'on ne trouve pas de nappe liquide, on enlève le tube, on l'arrache et on peut le replanter ailleurs. Il est inutile d'insister sur les avantages de ce nouveau procédé, et les succès qu'il obtient de toutes parts sont les plus solides garanties de son étonnante efficacité. M. Audoüy, ingénieur, chargé en France de l'exploitation des puits tubulaires, vient d'être envoyé en mission par l'État, dans les Landes, et dans quelques autres départements infertiles par leur sécheresse. Nous venons d'apprendre qu'un grand nombre de saignées ont été pratiquées dans certaines régions incultes des Landes ; l'eau a jailli de toutes parts, et il n'est pas douteux que l'apparition de ce précieux liquide transformera une terre inculte en riches et fertiles campagnes.

En présence de ces remarquables résultats obtenus dans le nouveau monde, en Angleterre et en France, on a songé à appliquer

le système de M. Norton au forage de puits artésiens en Algérie, et le maréchal Mac-Mahon a fait l'acquisition de trois cents appareils tubulaires. Mais l'eau ne se rencontrant guère dans le désert au delà d'une profondeur de 30 mètres, le système des puits instantanés ne pourra être efficace que dans un petit nombre de localités, puisque jusqu'ici les tuyaux réunis bout à bout n'ont pas encore dépassé une longueur de 15 à 18 mètres. On s'occupe d'en perfectionner la construction, et différents nouveaux modèles sont à l'étude. Le gouvernement anglais lors de la campagne qu'il exécuta en Abyssinie a expédié dans ce pays un grand nombre de ces tubes et les résultats ont dépassé toute espérance. Nous extrayons du journal le *Times* le récit des expériences exécutées en Abyssinie et relatées dans une lettre écrite par un correspondant, à la date du 20 janvier 1868.

« On vient de découvrir à Koomaylee, à l'aide du puits tubulaire américain, une source d'eau chaude, et comme Koomaylee, la première station sur la route de Senafé, n'est qu'à 15 milles de distance de la baie d'Annesley, on parle d'y faire venir l'eau par des tuyaux... On vient encore de faire une autre découverte d'eau, plus heureuse encore, dans la passe de Senafé, à l'aide du même système. Vos lecteurs se rappelleront que dans une de mes précédentes lettres, je racontais qu'une des plus grandes difficultés de la passe était le manque d'eau, entre le Sooroo supérieur et le Rayray Guddy, une distance de 30 milles environ. Un puits tubulaire vient d'être établi à Undul, qui se trouve à moitié route de ces deux endroits, ce qui facilitera singulièrement le mouvement des troupes et les approvisionnements jusqu'à Senafé. » Vingt jours après, un télégramme publié dans le même journal annonçait que de nouvelles découvertes d'eau potable avaient encore été faites par le système américain aux environs de Koomaylee.

On raconte que l'idée des puits tubulaires a pris naissance au moment de la guerre qui a momentanément divisé les États-Unis ; quelques soldats de l'armée du Nord auraient puisé l'eau dans un sol infertile, au moyen de tubes de fusil qu'ils brisaient et enfonçaient dans la terre ; M. Norton aurait plus tard perfectionné et rendu pratique cette invention.

G. Tissandier.

V

NOTICE NÉCROLOGIQUE.

LE GÉNÉRAL PONCELET.

Parmi les pertes si nombreuses que la science française a eu à déplorer dans ces derniers temps, l'une des plus sensibles est celle qu'elle a subie par la mort du général Poncelet. Comme géomètre, il avait réussi à reculer les bornes de notre savoir par des théories profondes ; comme ingénieur, il a rendu à l'industrie et à l'art militaire autant de services par ses inventions que par l'enseignement spécial qu'il a fondé dans nos écoles. Esprit éminemment primesautier, il a donné une impulsion féconde aux progrès des sciences mathématiques en les dotant de moyens nouveaux d'investigation. Par ses travaux relatifs à la mécanique appliquée, il a été l'un des promoteurs de ce grand mouvement industriel par lequel la France a pris place au premier rang des nations productrices. Caractère antique, officier et administrateur scrupuleux, honnête homme dans la force du terme, il laisse après lui un grand exemple.

Jean-Victor Poncelet naquit à Metz le 1er juillet 1788. Son père était membre du parlement de cette ville. L'enfant fut élevé à la campagne, et ses premières années se passèrent à courir dans les montagnes avec une troupe de camarades qui reconnaissaient en lui leur chef et le suivaient dans une foule d'excursions téméraires. Telle fut la vie du jeune Poncelet jusqu'au jour où un volume de Racine tomba entre ses mains. Il l'apprit par cœur, puis, ayant fait connaissance avec Corneille, Boileau, Molière, il passait des journées entières à déclamer dans les bois des tirades poétiques. En même temps s'éveilla en lui une irrésistible soif d'apprendre. Sous ce rapport, l'éducation du jeune homme avait été étrangement négligée ; il fit des efforts inouïs pour regagner le temps perdu ; pendant qu'il suivait à Metz les cours d'une école primaire, il avait dressé son chien à venir l'éveiller avant le jour, et souvent, quand l'intelligent animal pénétrait dans sa chambre, il le trouvait endormi devant sa table de travail, où le sommeil avait fini par triompher de sa bonne volonté. Bientôt il fut assez

avancé pour entrer au lycée de Metz, où il remporta tous les prix, et qu'il quitta en 1807 pour se présenter à l'École polytechnique. Il avait achevé ses classes en deux ans; mais sa constitution ne résista point à de tels efforts. Une fièvre violente qui se déclara lorsqu'il eut passé ses examens donna de graves inquiétudes à ses parents, et nécessita un nouveau séjour de plusieurs mois à la campagne où il avait été élevé. Une anecdote qui date de cette époque montrera la curiosité qui obsédait ce jeune esprit. Il avait amassé, grâce à de longues économies, la somme bien modique de sept francs; elle lui servit à acheter une montre en argent, mais ce ne fut pas pour la porter, ce fut pour la démonter et pour en étudier le mécanisme intérieur. Poncelet resta jusqu'en 1810 à l'École polytechnique; il y composa des notes de géométrie qui furent imprimées et dans lesquelles se remarque déjà une certaine originalité annonçant un esprit délié et dédaigneux des sentiers battus. A côté de ses occupations réputées arides, il ne délaissa pas la poésie; il fit des vers, mais en cachette, depuis qu'il s'était attiré une ovation de ses camarades qui alarma sa modestie. Après avoir passé deux ans à l'École d'application de Metz comme élève sous-lieutenant du génie, il fut employé en 1812 aux travaux de fortifications de Ramekens, dans l'île de Walcheren. Il y débuta par un tour de force: n'ayant ni le temps ni les matériaux nécessaires pour établir des fondations, il n'en réussit pas moins à asseoir solidement un fort casematé sur une couche de tourbe qui avait déjà englouti d'autres ouvrages.

Au mois de juin de cette même année 1812, le jeune lieutenant du génie partit avec la grande armée pour la désastreuse campagne de Russie. Le 18 août, il fit la reconnaissance militaire de Smolensk sous le feu de la place et assista à la bataille qui se livra le même jour. Le lendemain, il fut détaché pour l'établissement des ponts qui furent construits sur le Dniéper, au-dessous de Smolensk, malgré le feu incessant des batteries russes postées sur les hauteurs de la rive opposée. En cette circonstance, il fit preuve de tant de sang-froid et de circonspection que ses camarades plus anciens lui laissèrent en quelque sorte la direction des opérations, qu'il conduisit à bonne fin en trompant l'ennemi par des préparatifs simulés. Pendant plusieurs mois, il fut chargé de la construction des redoutes et blockhaus sur la route de Smolensk à Moscou, et la bravoure calme et réfléchie qu'il déploya en toute

occasion ne se démentit pas lors de la retraite. Au sanglant et dernier combat qui fut livré le 18 novembre à Krasnoï par le corps d'armée du maréchal Ney contre le prince Miloradovitch, il chargea à la tête d'une colonne de sapeurs et de mineurs les batteries russes dont le feu enfilait et croisait la grande route. Après avoir été exposées pendant plus d'une demi-heure à un effroyable feu de mitraille, les troupes furent obligées de se jeter dans un ravin, où l'épais brouillard leur permit de se reformer en colonne serrée; trompées par de faux rapports, elles regagnèrent la grande route, furent une seconde fois décimées par les obus en marchant sur les retranchements russes, et durent dans la nuit se rendre par capitulation. Le lieutenant Poncelet, qui avait eu son cheval tué sous lui, fut conduit au quartier général du prince Miloradovitch; n'ayant pu obtenir de lui les renseignements que l'on désirait avoir, on l'envoya dans les prisons de Saratof, sur les rives du Volga. Il y arrivait après quatre mois d'une marche pénible à travers les neiges. On se figure sans peine les souffrances qu'il eut à endurer pendant ce trajet, qu'il fit à pied, vêtu seulement des lambeaux d'un uniforme français, mangeant le pain noir des paysans russes, dans cet hiver exceptionnel de 1812, pendant lequel le froid fit plusieurs fois geler le mercure des thermomètres.

Parvenu au terme de ce triste voyage grâce à l'énergie physique et morale dont la nature l'avait doué, il paya cependant son tribut à tant de rudes épreuves. Il tomba malade et ne se rétablit que lentement sous l'influence bienfaisante du soleil d'avril. Les prisonniers étaient traités durement. Parqués par chambrées de quatre dans de mauvais réduits, privés de secours matériels aussi bien que de toute espèce de ressources morales ou scientifiques, ils eurent à endurer des humiliations plus amères que leurs souffrances physiques. Avec un caractère moins fier, moins indépendant, M. Poncelet aurait pu, comme plusieurs de ses compagnons, se procurer un bien-être relatif en mettant à profit ses conaissances en mathématiques; mais il lui répugnait de faire cette sorte de compromis avec ses sentiments de patriotisme. Tout en trouvant qu'il les poussait un peu loin, on doit dire que l'isolement auquel il se condamna fut un bonheur pour la science. Il refusa les offres de quelques seigneurs russes qui voulurent lui confier l'éducation de leurs fils, et s'absorba entièrement dans ses études

favorites. Réduit littéralement à ses souvenirs d'école, il dut commencer à se créer des instruments de travail, refaire un à un pour son usage les éléments des mathématiques, arithmétique, algèbre, géométrie, et reconstruire en quelque sorte par la base l'édifice de ses connaissances. Ces études remplirent plusieurs cahiers dont il disposa dans la suite en faveur de quelques compagnons d'infortune désireux de compléter leur éducation, compromise par la marche des événements. Un phénomène psychologique assez curieux, c'est que le jeune prisonnier de Saratof parvint à se rappeler peu à peu tout ce qui touchait aux mathématiques pures, mais que les lois de la mécanique, les lois du mouvement, n'avaient laissé aucune trace dans son esprit ; c'est en vain qu'il s'efforça d'en retrouver les équations.

Après avoir ainsi préparé le terrain, il se lança avec ardeur dans la voie des découvertes. Il se fraya des routes nouvelles dans le domaine de la géométrie pure, dont il parvint à généraliser le langage et les conceptions par des théories originales et fécondes. Les spéculations auxquelles il se livra dès lors, et dont il publia plus tard les résultats dans son célèbre *Traité des propriétés projectives des figures*, ont puissamment contribué à fonder cette géométrie moderne si abstraite, si dégagée de toute considération des formes individuelles qui représentent des objets sensibles. La marche de la géométrie ancienne est plus timide ou plus sévère, elle ne perd jamais de vue une figure réellement décrite et ne raisonne que sur des grandeurs déterminées ; la géométrie nouvelle procède avec une sorte de hardiesse divinatrice, elle va au but rapidement et sans hésitation, parce qu'elle considère les propriétés des figures indépendamment de toute grandeur absolue et déterminée, de toute disposition accidentelle ou spéciale. Sous cette indétermination, ces propriétés générales embrassent ou enveloppent cependant toutes les propriétés particulières des figures en quelque sorte matérielles et existantes. Ce sont des propriétés de cette nature que M. Poncelet appelle *projectives*, parce qu'elles ne cessent pas de subsister, si on considère une figure dans ses différentes projections ou perspectives, qui en changent l'aspect sans en altérer pour ainsi dire l'essence ; c'est ainsi que les silhouettes les plus capricieuses d'un buste dont l'ombre se projette sur un mur conservent toujours une certaine ressemblance avec le profil original. Nous devons forcément nous borner à ces quelques in-

dications générales, dans l'impossibilité où nous sommes de donner ici une idée même approximative de recherches aussi épineuses.

La notification de la paix générale, en juin 1814 permit inopinément aux prisonniers français de quitter leur triste séjour. « Ce fut avec une joie bien vive, dit M. Poncelet, que je pensai au bonheur de revoir ma patrie, ma ville natale, mes parents, mes amis. Cependant, en jetant un dernier regard sur cette contrée qu'arrose le plus grand des fleuves de l'Europe, sur ce Volga que sillonnent à pleines voiles de gros navires chargés des riches tribus de la mer Caspienne, de la Géorgie et de la Perse, après que le soleil d'avril l'a débarrassé de ses glaçons ; quand je dus abandonner cette ville renaissante, à longues files de maisons isolées en bois, et les steppes incultes, mais non stériles, qui l'entourent, je ne pus me défendre d'une émotion profonde et d'un vif sentiment d'appréhension, en me demandant si, au milieu de la vie active qui m'attendait, je pourrais poursuivre, comme dans le silence et la solitude de l'exil, les études qui en avaient adouci l'amertume et m'étaient devenues si chères. » Rentré au mois de septembre, après un voyage dont on aurait quelque peine à se figurer les lenteurs en ce temps de chemins de fer, et que l'impatience de revoir la patrie rendait plus long encore, M. Poncelet commença par se faire rayer de la liste des morts, sur laquelle il avait longtemps figuré. Il fut attaché, en qualité de capitaine du génie, à la place de Metz. Pendant les vingt années qu'il y passa, absorbé presque entièrement par ses devoirs d'ingénieur militaire et de professeur, il lui arriva peut-être plus d'une fois de regretter la solitude de l'exil, qui lui avait permis de donner libre carrière à ses spéculations transcendantes. Les occupations qui l'attendaient étaient d'une nature toute pratique, et la besogne n'était pas mince. A peine arrivé, il se vit obligé de faire construire pour l'arsenal du génie les usines dont cet établissement était encore dépourvu ; il consacra donc ses premiers soins à l'installation de martinets, souffleries, forges, meules d'aiguiserie, fours et scieries. La reconnaissance militaire du département de la Moselle et le blocus de Metz vinrent occuper son temps pendant l'année suivante, et lui révélèrent la nécessité d'une foule d'améliorations qu'il songea dès lors à introduire dans les ouvrages de défense et de fortification. Parmi les projets qu'à cette époque il rédigea et qui

étaient appuyés sur de sérieuses études expérimentales, on peut citer notamment celui d'un barrage éclusé à établir sur la Moselle, à la gorge du fort qui porte le même nom, projet hérissé de difficultés, et dont Vauban s'était déjà préoccupé. Il inventa ensuite le pont-levis le plus employé de nos jours et les roues hydrauliques auxquelles on a donné le nom de *roues à la Poncelet*. Les roues verticales mues par-dessous qui sont employées à transmettre la force de l'eau dans beaucoup d'usines reçoivent le choc du liquide sur des aubes ou palettes qui, cédant sous l'impulsion, font tourner la roue. Auparavant, la forme adoptée pour les palettes était telle, qu'une grande partie de la force disponible se perdait sans produire d'effet utile ; M. Poncelet imagina des aubes courbes dont la forme est calculée de manière à utiliser la totalité de la puissance motrice de l'eau. L'ingénieuse invention du capitaine Poncelet obtint en 1825 le grand prix de mécanique de l'Institut et se répandit promptement en France, en Allemagne, en Italie et en Angleterre. Elle doubla presque le rendement des moteurs hydrauliques et permit d'obtenir des effets extraordinaires ; certaines roues Poncelet ont une force de cent chevaux.

Malgré ces travaux pratiques, et quoiqu'il remplît toujours scrupuleusement ses devoirs d'ingénieur militaire, M. Poncelet trouva assez de loisirs pour coordonner et pour perfectionner ses recherches de géométrie ébauchées à Saratof. Après en avoir publié quelques fragments dans divers recueils, il put enfin faire paraître en 1822 le premier volume de son *Traité des propriétés projectives*, ouvrage qui fit une grande sensation. Peu de temps après, il lut à l'Académie des sciences deux mémoires dans lesquels il présenta l'application et le développement des théories contenues dans cet ouvrage, mais qui ne furent publiés qu'en 1828 dans le *Journal mathématique* de Berlin [1]. Contrairement à ce

[1] Ce n'est qu'en 1865, après un intervalle de quarante-trois ans, que le général Poncelet a pu faire paraître une nouvelle édition de son *Traité des propriétés projectives des figures*, en deux gros volumes in-4°. Le second volume renferme sa théorie des *centres de moyenne harmonique* et celle des *polaires réciproques*, qui a donné naissance au fameux *principe de dualité*. Les manuscrits composés de 1813 à 1820, et qui renferment les éléments ou les germes de ces théories, ont été publiés en 1862 et 1864 ; ils forment le premier volume de l'ouvrage intitulé *Applications d'analyse et de géométrie*.

qu'on aurait dû espérer, les découvertes dont M. Poncelet venait d'enrichir la science devinrent pour lui une source de déceptions et de discussions incessantes et pénibles. Sa probité excessive l'avait entraîné à effacer sa personnalité un peu plus qu'il n'était et qu'il n'est malheureusement d'usage parmi les savants ; loin de faire ressortir ses propres mérites, il avait présenté sous le jour le plus favorable celui de ses prédécesseurs, et cette modestie inusitée avait encouragé l'injustice ; on se partageait un bien si peu défendu ! M. Poncelet s'en aperçut trop tard, et eut, jusqu'à la fin de ses jours, à soutenir des polémiques dans lesquelles il poussa lui-même peut-être trop loin l'esprit de récrimination. En outre certains principes qu'il avait avancés étaient contestés par des géomètres d'un tempérament scientifique trop différent du sien pour l'apprécier à sa juste valeur, et il s'exagérait les sentiments d'hostilité dont il les supposait animés à son égard. A l'entendre, ses théories étaient traitées de « géométrie romantique » et tournées en ridicule, tandis qu'en réalité elles faisaient leur chemin et s'introduisaient peu à peu dans l'enseignement.

Quoi qu'il en soit, Arago, alors examinateur de l'École d'application de Metz et peu enclin de sa nature à encourager des recherches de spéculation pure, cherchait à pousser le jeune géomètre dans une autre voie. Il le fit attacher comme professeur à l'École d'application, où on le chargea de créer un cours sur le travail des machines. Ce cours, fait à un point de vue éminemment pratique, a rendu aux deux armes de l'artillerie et du génie des services inappréciables. En même temps le capitaine Poncelet commençait un cours professionnel, public et gratuit, dans lequel il initiait les ouvriers messins aux notions de mécanique susceptibles d'une application immédiate aux arts et métiers. La récente introduction de méthodes industrielles nouvelles venues d'Angleterre rendait un enseignement de cette nature très-désirable et même très-urgent. Les cours de géométrie et de mécanique appliquées aux arts, que différents officiers se chargèrent alors d'ouvrir dans les principales villes et auxquels le cours du capitaine Poncelet servit de modèle, n'ont pas peu contribué à changer la face de l'industrie française, en faisant comprendre aux ouvriers la supériorité du raisonnement sur l'emploi aveugle de la force et des procédés traditionnels de la routine. La matière de ces cours a été publiée par M. Poncelet dans un ouvrage for

estimé et remarquable surtout par l'élégance et la simplicité des démonstrations [1].

Dès 1831, Arago avait invité M. Poncelet, au nom des principaux géomètres de l'Académie des sciences, à se porter candidat pour une place alors vacante dans le sein de la section de géométrie ; mais le modeste officier du génie avait refusé. Ce n'est qu'en 1834, époque à laquelle la mort de sa mère brisa les derniers liens qui l'attachaient à la ville de Metz, qu'il consentit à se présenter comme candidat au fauteuil laissé vacant par le décès de M. Hachette. Il fut élu à la presque unanimité des suffrages et pendant un tiers de siècle il ne cessa de prendre une part active aux travaux de la section de mécanique. En même temps il fut définitivement adjoint au comité des fortifications, où il fut, jusqu'en 1848, chargé des rapports scientifiques et de la rédaction du *Mémorial de l'officier du génie*. C'est dans ce recueil qu'il a publié ses importantes recherches sur la stabilité des voûtes, des revêtements et des fondations. En 1838, on créa pour lui la chaire de mécanique physique et expérimentale à la faculté des sciences de Paris. Ce cours, complément naturel de l'étude de la mécanique rationnelle, dont il matérialise en quelque sorte les conclusions, tout en les limitant par l'étude des faits dans les bornes du possible, a exercé une grande influence sur l'enseignement de la mécanique en France. M. Poncelet s'efforça constamment de combler l'abîme qui sépare la mécanique théorique des géomètres de la mécanique des ateliers, bien moins simple et moins riche en illusions. Les praticiens arrivent trop facilement à une sorte d'éloignement et de mépris pour les abstractions de la théorie, parce qu'ils apportent dans leurs travaux les idées incomplètes et fausses sur l'équilibre absolu et sur le mouvement idéal qu'ils ont puisées dans un enseignement resté rudimentaire, tandis qu'une instruction solide, qui tient compte à chaque instant des données fournies par l'expérience, est d'un secours inestimable pour hâter les progrès de l'industrie.

En présence de tant de services rendus et d'une si haute valeur scientifique, on peut s'étonner de voir M. Poncelet si lentement

[1] *Introduction à la Mécanique industrielle*, par J.-V. Poncelet (1829 et 1839). Les éditions postérieures sont intitulées *Traité de Mécanique industrielle*.

avancer en grade. Il était resté dix-sept ans capitaine et dix ans chef de bataillon ; ce n'est qu'en 1841 qu'il fut nommé lieutenant-colonel. Juste et généreux lui-même, il n'avait pensé qu'à faire son devoir, laissant à d'autres le soin d'examiner ses droits. Comme il ne demandait rien, on l'oubliait. La révolution de Février le trouva simple colonel et sur le point d'être mis à la retraite. Arago, devenu ministre de la guerre, s'empressa de lui rendre justice ; il le nomma général de brigade et l'appela peu de jours après au commandement supérieur de l'École polytechnique. La fermeté du général contint cette bouillante jeunesse pendant les terribles journées de Juin ; il la mit sous les armes et la conduisit à travers les barricades jusqu'au palais du Luxembourg, où le bataillon de l'École devint la garde d'honneur du gouvernement. Il faisait aussi partie de l'Assemblée constituante, et le suffrage populaire qui l'avait appelé à ces fonctions était d'autant plus flatteur qu'il avait été plus spontané. M. Poncelet vota avec le parti démocratique modéré, et il ne fut pas réélu à l'Assemblée législative. Pendant les derniers jours de juin, le général Cavaignac lui confia le commandement des gardes nationales de la Seine, qu'il ne remit aux mains du général Perrot que lorsque le calme, enfin rétabli, eut permis de renvoyer dans les départements les milices venues au secours de la capitale menacée. Ce court épisode de sa vie politique montra sous un jour brillant les qualités qui le distinguaient, une fermeté à toute épreuve et une loyauté qui ne se démentit jamais. Il resta commandant en chef de l'École polytechnique jusqu'en 1850, s'occupa avec énergie des réformes que réclamait depuis longtemps l'enseignement de cet établissement national, et ne quitta ce poste que lorsque son âge avancé amena pour lui l'heure de la retraite.

En 1851, le général Poncelet présida le jury de la classe des machines et outils à l'Exposition universelle de Londres. Chargé de faire, au nom de la commission française, le rapport historique sur les progrès des inventions mécaniques depuis l'origine des brevets, il employa sept ans à ce travail de bénédictin, dont il s'acquitta avec une conscience au-dessus de tout éloge. Pour acquérir une connaissance approfondie de son sujet, il entreprit une tournée d'exploration dans les filatures de soie, de lin et de chanvre de la France ; il étudia les collections de *patentes* des différents pays afin de remonter de titre en titre au véritable auteur de chaque

invention et de chaque perfectionnement, et ne négligea rien de ce qui pouvait élever son travail à la hauteur d'un monument historique. A peine les deux volumes, fruit de tant de labeur, avaient-ils paru, que M. Poncelet tomba gravement malade. Longtemps les médecins désespérèrent de le sauver : il avait soixante-dix ans. Il guérit cependant et s'occupa aussitôt, aidé de quelques amis dévoués, de la publication de ses premières recherches, demeurées jusqu'alors inédites. On y voit la marche qu'il a suivie pour arriver à ses découvertes, les tâtonnements quelquefois pénibles par lesquels il a passé ; on voit que si plus tard, brûlant ses vaisseaux il s'efforça de rendre la géométrie indépendante de l'analyse algébrique en la fondant sur une sorte d'intuition, il était cependant arrivé à ses premières découvertes par le chemin de l'analyse. La publication d'une nouvelle édition de son *Traité des propriétés projectives des figures*, enrichie de notes dans lesquelles il continuait de donner cours à ses rancunes de géomètre méconnu, occupa les dernières années de cette vie si bien remplie. Il était atteint d'un mal sans remède, et cependant jusqu'au dernier moment la douleur physique n'eut pas raison de sa volonté toujours ferme, de sa pensée toujours lucide ; il s'éteignit doucement le 23 décembre 1867 sans avoir cessé de jouir pleinement de toutes ses facultés. La France a perdu dans le général Poncelet un homme de bien et un homme supérieur, modèle de franchise et de droiture, savant de premier ordre et soldat accompli.

R. Radau.

VI

BIBLIOGRAPHIE

Le baccalauréat ès sciences : Mécanique, par M. Burat. — *Cosmographie*, par M. Tissot. — Masson.

M. Burat vient de terminer la rédaction du traité de mécanique élémentaire rédigé d'après le programme du baccalauréat ès

sciences et qui fait partie de la collection des manuels publiés par la librairie Victor Masson.

En un petit volume, l'auteur a su traiter toutes les questions contenues dans ce programme, et les présenter avec concision et clarté. Les principes élémentaires de la mécanique sont difficiles à exposer; trop souvent les candidats au baccalauréat ès sciences ne sont pas, au point de vue des notions mathématiques, suffisamment préparés pour suivre un cours de mécanique rationnelle, si élémentaire qu'il puisse être. Ils trouveront un utile auxiliaire dans le précis de M. Burat, où tous les théorèmes sont démontrés avec une netteté remarquable.

La division générale de cet ouvrage est celle adoptée par le programme universitaire, c'est-à-dire qu'elle comprend deux parties :

Livre I. — *La statique.*

Livre II. — *La cinématique et la dynamique.*

Dans la statique, le théorème de Sturm qui se rattache à la composition des forces concourantes, est présenté très-simplement, de manière que le lecteur puisse immédiatement se rendre compte de la méthode employée par ce célèbre géomètre. — La composition des forces parallèles, la recherche du centre de gravité, l'étude des machines simples sont étudiées avec de nombreux exemples à l'appui, qu'élucident encore des figures intercalées dans le texte et dessinées avec beaucoup de soin et d'exactitude.

Dans la Cinématique, les divers mouvements, la loi de l'inertie, le principe des vitesses virtuelles, le principe des forces vives, et l'évaluation du travail mécanique développé dans les machines, sont exposés très-complétement.

Enfin chaque chapitre se termine par un grand nombre d'exercices ou problèmes, dont les solutions sont faciles à trouver quand on a bien compris les notions contenues dans le chapitre. Ces problèmes habilement choisis par l'auteur faciliteront aux candidats au baccalauréat ès sciences, l'application des principes de la mécanique rationnelle, en même temps qu'ils les graveront mieux dans leur mémoire.

M. Burat, dans le courant de son volume, renvoie plusieurs fois le lecteur à la *Cosmographie* de M. Tissot, manuel qui appar-

tient à la même collection. Nous avons lu avec un grand intérêt cette petite astronomie élémentaire qui contient en moins de 150 pages le programme développé des notions de cosmographie exigées des candidats au baccalauréat ès sciences. M. Tissot, répétiteur à l'École polytechnique, a écrit un livre qui peut être lu par les personnes étrangères à la science qui désirent connaître les lois du mouvement de l'univers. Ce traité rédigé avec élégance, facile à comprendre, est débarrassé de tout calcul mathématique difficile à suivre. Un très-grand nombre de figures très-bien dessinées mettent le lecteur à même de suivre plus commodément les savantes explications données dans le texte.

P. S.

ART MILITAIRE

LA VAPEUR ET L'ÉLECTRICITÉ A LA GUERRE

Time is money. — Le temps, c'est l'argent, nous ont appris à répéter nos actifs voisins d'outre-Manche ; un soldat traduirait : le temps, c'est la victoire.

Luttes pacifiques du commerce et de l'industrie, luttes plus cruelles de la guerre, toutes les manifestations de l'énergie humaine témoignent de l'importance croissante du temps. — La vitesse, la vitesse à tout prix, c'est là ce que les esprits recherchent partout fiévreusement : il faut prévenir le concurrent ou l'adversaire, il faut arriver le premier. Cette notion, raisonnée chez quelques-uns, instinctive chez la plupart, est comme le caractère distinctif de notre époque et se traduit de toutes les manières ; par la création des câbles sous-marins et les essais de labour à la vapeur, aussi bien que par l'invention des mitrailleuses à jet continu.

Les progrès de la science et de l'industrie ont successivement donné naissance à de nombreux et puissants moyens de guerre : les ressources de l'art militaire se puisent aujourd'hui dans presque toutes les branches des connaissances humaines ; une armée, c'est une réunion d'ingénieurs, de physiciens, de géomètres, de chimistes, de dessinateurs, de charpentiers, d'ouvriers de toute sorte, tous combattants.

Si l'on tient compte des conditions morales dans lesquelles se trouve le soldat en campagne, des influences auxquelles il est accessible, de la facilité avec laquelle il passe de la confiance la plus complète à l'appréhension et à la timidité, on comprendra sans peine toute l'importance que peut acquérir, à la guerre, pour

l'un des belligérants, la possession d'un instrument de combat nouveau, même si on laisse de côté les avantages matériels immédiats. En outre, l'idée la plus ingénieuse, le plan le plus admirable, mis en œuvre avec mollesse, peuvent n'aboutir qu'à des désastres, tandis que les résultats les plus décisifs apparaissent là où la rapidité dans la conception peut être fécondée par la rapidité dans l'exécution. Il y a déjà trois quarts de siècle, les soldats de Bonaparte disaient : « Ce n'est pas avec nos bras, mais avec nos jambes, que le Premier consul gagne les batailles. » Et, tout récemment, la campagne si courte et si décisive de 1866, après la guerre d'Italie et la lutte gigantesque dont l'Amérique avait offert pendant quatre ans le spectacle, est venu apporter à ces vérités une consécration nouvelle.

La transformation actuelle de l'art militaire, au développement de laquelle nous assistons depuis quinze ans, ne s'est pas opérée sans de longues hésitations : il a fallu la guerre d'Amérique et celle qui a si profondément influé sur les destinées de l'Allemagne pour faire ressortir toute l'importance des changements que devaient subir la tactique et la stratégie modernes, sous l'action des deux agents physiques dont l'emploi, dans ces derniers temps, a frappé si souvent d'impuissance la valeur, la connaissance la plus parfaite des anciens errements, et même la supériorité du nombre.

I

LA VAPEUR.

Les bagages d'une armée. — Napoléon à Ulm. — Sébastopol. — La guerre d'Amérique. — Une campagne en chemin de fer. — La campagne de 1866. — Destruction et réparation des voies ferrées. — Un matériel idéal.

La victoire, a-t-on dit et répété, finit toujours par rester aux gros bataillons : c'est vrai, mais il y a bien des façons d'opposer à une masse déterminée d'hommes une masse capable de la combattre avec avantage, et la petite armée qui saurait marcher quand l'ennemi repose, courir lorsqu'il marche, en un mot être et lutter partout à la fois, pourrait certes valoir à elle seule beaucoup de gros bataillons : c'est là une leçon de stratégie que nous trouvons à toutes les pages de l'histoire, depuis l'épisode du der-

nier Horace vainqueur des trois frères Albains, jusqu'au récit de la campagne de 1814. Aussi, après la perfection de l'armement, après la sûreté des mouvements individuels, a-t-on toujours cherché à développer dans les armées la plus grande mobilité possible. C'est là ce que chacun sait. Ce que l'on ignore davantage, ce sont les difficultés énormes auxquelles on s'est heurté chaque fois qu'on a voulu augmenter dans une proportion notable cette mobilité sans qu'il en résultât pour le soldat des fatigues assez grandes pour le mettre hors d'état de combattre. Ce n'est pas une tâche facile que de faire avancer rapidement et sans désordre, dans un pays qu'en général ils ne connaissent point, 100 ou 120,000 hommes, en veillant sans cesse à leur armement, à leur vie matérielle, aux moyens de leur permettre l'exécution des travaux que nécessite si souvent la guerre. Les canons, les chariots à munitions, les voitures d'outils ou d'approvisionnements de toute nature, tous ces *impedimenta* qu'il faut traîner avec soi, ne peuvent circuler à travers champs ; ces lourds et nombreux véhicules ne sauraient se mouvoir sur des terrains meubles ni dans des plaines couvertes de récoltes, sinon péniblement et sous peine de faire perdre à l'armée toute la rapidité de ses actions. Il faut donc marcher sur des voies bien tracées, sur des routes, et autant que possible sur de bonnes routes. D'ailleurs, si l'on songe à l'immense développement qu'offrirait une colonne de 130 à 140,000 hommes, effectif ordinaire des armées d'aujourd'hui, on reconnaît bien vite l'impossibilité de faire dérouler un pareil ruban sur une voie unique ; il est donc nécessaire de se ménager plusieurs chemins, parallèles ou concourant vers l'objectif que l'on convoite. De là l'importance extrême qui s'attache à la possession des voies de communication.

L'armée ainsi divisée en tronçons susceptibles d'agir isolément ou de concert, veut-on se faire une idée du matériel roulant qu'entraîne à sa suite un simple corps de 30,000 hommes ? Il faut tout d'abord ajouter aux 60 bouches à feu qui l'accompagnent environ 4 voitures par pièce, destinées au transport des munitions. Voilà déjà 300 chariots, traînés par 1200 chevaux. En outre, le parc de réserve d'artillerie, comprenant à peu près 120 voitures, est suivi de 80 autres véhicules destinés à porter les outils nécessaires au génie et les bateaux de l'équipage de pont. Ce n'est pas encore tout ; les approvisionnements, les am-

bulances, etc., nécessitent un parc administratif qui comporte encore une centaine de véhicules. En tout, environ 600 voitures, représentant, en les supposant placées par deux de front, un développement en longueur de plus d'une lieue. On le voit, ce n'est pas peu de chose que les bagages d'une armée en campagne.

De cette richesse même d'organisation résultent de nouvelles difficultés à vaincre, de nouveaux obstacles à surmonter; il faut élargir certaines routes, réparer les ponts détruits ou même en construire de nouveaux, il faut quelquefois tracer de nouvelles voies ; et tous ces ouvrages, qui ne ressemblent guère aux travaux de longue haleine, mais aussi de longue durée, auxquels nous assistons journellement, doivent présenter des qualités spéciales, s'effectuer par des procédés particuliers, conduisant promptement au résultat tout en laissant des garanties suffisantes de solidité. Nous ne pouvons raconter les merveilles d'adresse et d'ingéniosité qu'officiers et soldats ont accomplies dans les circonstances les plus diverses ; nous en avons dit assez pour donner une idée des labeurs, des fatigues sans nombre que supportent les troupes avant de se trouver en présence de l'ennemi. Ainsi, substituer le transport à la marche, le plus souvent possible, c'est, tout en réalisant une économie de temps qui peut être décisive, emmagasiner dans ce grand instrument de combat qu'on appelle l'*armée*, une plus grande vigueur, une force vive plus considérable, c'est le rendre capable d'efforts plus énergiques au moment de la lutte. Napoléon, à qui les jambes de ses soldats ne suffisaient pas toujours, entrait dans cette voie lorsqu'en 1805, voulant exécuter le mouvement tournant qui décida du sort de la campagne, il organisait une sorte de *chasse aux voitures*, et, mettant en réquisition toutes les chaises de poste que l'on pouvait trouver, y entassait sa garde pour l'envoyer au triple galop se placer en arrière de l'armée autrichienne postée à Ulm.

Aujourd'hui, les chemins de fer ouvrent une carrière nouvelle à la rapidité et à la commodité des mouvements militaires. Jetez les yeux, par exemple, sur la carte de l'Europe en 1854 : on cherche vainement, au milieu des immenses steppes de la Russie, à peine traversées par quelques routes, le réseau de voies ferrées qui, en France, rayonne déjà de la capitale vers les points principaux de la frontière. Voilà le fait. La conséquence, ce fut la possibilité de transporter et de faire vivre une armée considérable

sous un ciel ingrat, à 800 lieues de la patrie, pendant la plus rude saison de l'année ; tandis que ceux dont le pays se trouvait ainsi envahi ne pouvaient, sur leur propre territoire, amener toujours aux instants opportuns les hommes ni le matériel nécessaires à leur défense. Une seule ligne ferrée traversant du Nord au Sud les plaines moscovites eût suffi à rendre infructueux les efforts que nos troupes n'ont pu voir couronnés par le succès qu'à force de constance, de bravoure, et, il faut bien le dire, à force de sang répandu.

Cinq années plus tard, à l'ouverture des hostilités en Italie, notre armée, grâce aux chemins de fer, débouchait en rase campagne lorsque l'ennemi pouvait en croire encore la formation inachevée. Les avantages apportés par la possession des voies ferrées furent d'ailleurs disputés de part et d'autre pendant toute la durée de la campagne, qui s'est pour ainsi dire accomplie le long des rails: Montebello, Magenta, San-Martino, Marignan, sont autant de gares de chemin de fer, permettant l'offensive aussi bien que la retraite, assurant les subsistances et les approvisionnements de guerre.

Pendant la guerre d'Amérique, le rôle des voies ferrées apparaît avec bien plus d'importance encore, et, en particulier, la grande marche de Sherman en Géorgie, en 1864, nous offre l'exemple d'une campagne qui s'est littéralement faite en chemin de fer : se dirigeant d'abord de Nashville en Chattanoga vers Atlanta, sur une ligne presque entièrement détruite par les confédérés, Sherman réunit dans la première de ces villes des trains chargés de traverses, de rails, de matériaux de toute sorte, accompagnés de nombreuses locomotives ; il rassemble tout un corps d'ouvriers civils et d'ingénieurs bientôt organisés militairement, et s'avance vers Atlanta en reconstruisant la voie, maintenant ainsi ses rapports avec les pays déjà soumis. C'est en commençant alors à couper les railways à l'est et au sud de cette ville qu'il force l'ennemi, menacé dans ses communications et sa vie matérielle, à l'évacuer. Après la prise d'Atlanta, le chef de l'armée fédérale continue ce grand mouvement de l'ouest à l'est, sur les deux lignes qui se dirigent vers Charlestown et Savannah, et termine enfin la campagne par la prise de cette dernière ville.

On peut rapprocher jusqu'à un certain point cette manœuvre de

la conduite suivie en 1866 par les Autrichiens et qui, en raison de négligences et d'hésitations de toute sorte, fut loin de produire d'aussi brillants résultats : l'armée autrichienne, en effet, s'avance sur la grande ligne de Prague, Olmütz et Cracovie, cherchant à entourer la frontière prussienne, mais en laissant presque sans défense les parcs de la Bohême, négligeant de prendre l'offensive, et profitant mal d'un territoire éminemment propre à la résistance. Plus hardis, les Prussiens dirigent leur marche le long des deux lignes qui relient à la Bohême la Saxe et la Moravie, par Littau et Reischenberg d'une part, de l'autre Landshut et Josephstadt, où la jonction des deux corps peut s'opérer presqu'au point d'embranchement des deux voies. Sans s'arrêter à faire le siége des places fortes, ils mettent tous leurs efforts à venir couper les voies ferrées qui, partant de Vienne, viennent aboutir en Bohême et en Moravie ; exécutant ainsi tout le long de leur route les travaux les plus divers, rétablissant les voies, comblant des ravins, surmontant des difficultés topographiques de toute nature. L'armée prussienne ne pouvait arriver à de semblables résultats sans une organisation toute spéciale ; aussi, comme l'armée fédérale américaine, entraînait-elle tout un corps de mécaniciens, de chauffeurs, guidés en partie par des ingénieurs civils. De plus, les voitures du train étaient accompagnées d'un équipage particulier, permettant de construire rapidement des ponts de fer de petite dimension là où l'ennemi avait fait sauter des arches de ponts en maçonnerie.

On voit que bien souvent, pendant les dernières guerres, les destinées d'une armée, d'un peuple même, ont tenu à la possession ou à la destruction de quelques kilomètres de voies ferrées. A l'aide de quels moyens est-on parvenu à modifier ainsi les conditions de la lutte? Lorsqu'il s'agit de détruire, ces moyens s'offrent avec une profusion que celui qui doit reconstruire est loin de retrouver. En s'attaquant tout d'abord aux travaux d'art, aux ponts, aux viaducs, aux tunnels, on arrête sûrement et facilement la marche de l'ennemi : quelques tonnes de goudron, quelques torches suffisent pour incendier les ouvrages de bois ; il n'est pas bien long non plus, en pratiquant un petit nombre de fourneaux de mine, d'avoir raison de la maçonnerie ; on peut ainsi opposer un obstacle d'une grande puissance aux progrès d'une armée, si l'on détruit un tunnel sur une certaine longueur. Il est vrai que le

travail de destruction lui-même est long, difficile, et que les mines ne produisent pas toujours l'effet qu'on en attend, surtout si l'on se borne, comme on l'a fait quelquefois, à disposer au-dessous des clefs de voûte, sur des échafaudages élevés convenablement, des barils de poudre auxquels on met le feu.

Il est également aisé de rendre les voies impraticables : il suffit d'enlever les rails, les traverses, après avoir fait voyager tout le matériel roulant vers les points où l'on veut conserver une libre circulation. Si l'on veut se ménager des retours offensifs, on renferme tous les matériaux enlevés ainsi dans l'enceinte d'une station fortifiée pour la circonstance, si sa position stratégique n'en a déjà fait une place d'armes. Dans le cas où l'on ne peut traîner avec soi des charges aussi embarrassantes, il faut du moins empêcher l'ennemi d'en profiter : on brûle les traverses sur place ; ou même, pour rendre les rails incapables de servir, on les dispose sur des bûchers formés au moyen des traverses, de façon que leurs extrémités surplombent de part et d'autre, et, sous l'action de la chaleur qui rougit et ramollit les parties centrales reposant sur le bois, s'inclinent et se tordent pour ne laisser aux nouveaux arrivants que des barres de fer coudées.

L'armée qui a devant elle une ligne ainsi détruite et qui ne veut cependant pas renoncer aux avantages qu'elle en pourrait tirer, doit amener avec elle tout un nouveau matériel et reconstituer l'ancienne voie partout où elle a été coupée. Ce sont alors des travaux à peu près semblables à ceux du génie civil que l'on effectue, mais on peut en abréger de beaucoup la durée, en employant pour leur exécution les procédés approximatifs mais rapides qui, dans certains cas, permettent même d'obtenir en peu de temps des voies complétement nouvelles. Dans ce dernier cas, le plus intéressant si non le plus fréquent, on a essayé avec succès de placer les rails directement sur le sol naturel, en évitant toute espèce de remblai ou de déblai, ce qui limite l'application des *surface rail roads*, ainsi que les appellent les Américains, à des pays peu accidentés et dont le sol offre, au moins sur une certaine zone, une assez forte résistance. On se borne, après un nivellement préalable, à tracer la route par un jalonnement. Ce travail effectué au moyen de poteaux placés de 60 en 60 mètres environ, on entreprend la construction de la voie par sections de 200 à 300 mètres, en se dirigeant, pour aller plus vite, des deux extrémités

de la section à la fois vers son milieu : le sol est simplement débarrassé des gros cailloux, ainsi que de la végétation qui peut le couvrir, puis à peu près nivellé à la pelle. Pendant ce temps, les bois destinés aux traverses ont été abattus grossièrement et équarris ; on place ces dernières sur le sol dans une direction perpendiculaire au tracé, et à $0^m,40$ de distance seulement les unes des autres. Ce rapprochement des traverses, en répartissant plus également et sur un plus grand nombre de supports les pressions, donne de suffisantes garanties de solidité.

Pour fixer les rails aux traverses, on se contente d'enfoncer dans celles-ci, la tête tournée vers le rail, des clous à crochet d'une longueur d'environ 1 décimètre, offrant une section rectangulaire à peu près $0^m,02$ de largeur à la tête. Quant aux joints de prolongement de deux rails consécutifs, on les assujettit sur une même traverse au moyen d'une petite bande de tôle fixée par 4 clous à crochet.

On règle le nivellement des traverses en même temps que s'effectue la pose des rails. Les extrémités trop inclinées de ces pièces de bois sont relevées convenablement, puis soutenues au moyen de cales ou même de simples cailloux. Un corps d'armée, bien dirigé et divisé en ateliers, peut construire ainsi en un seul jour 2 kilomètres de voies d'une durée bien plus que suffisante pour une campagne. En 1864, nous apprend M. Vigo-Roussillon dans une étude intéressante (*Puissance militaire des États-Unis*), l'armée du Potomac avait construit 50 kilomètres de chemins de fer nouveaux ; elle en avait réparé autant et rétabli complétement 30 kilomètres de lignes détruites par les confédérés, le tout en l'espace de deux mois.

Jusqu'ici, pour effectuer le transport des hommes et des équipages, on avait simplement profité des ressources déjà existantes ; bien des raisons s'unissent aujourd'hui pour provoquer, de la part des gouvernements, la création d'un matériel spécial, approprié aux usages militaires. Nos wagons sont trop petits, trop divisés en compartiments, trop lourds, et ne peuvent servir à un transport rapide que par l'accumulation des voitures en trop grand nombre dans un même train, et par des voyages répétés. C'est l'étude du matériel américain, dont on a pu tirer pendant les guerres de sécession le parti le plus avantageux, qui a servi de point de départ aux projets divers que l'on a présentés depuis

quelques années : des wagons spacieux, atteignant une longueur de 12 à 15 mètres, pourraient, en effet, contenir aisément chacun 200 à 300 soldats, surtout si en rendant mobiles les banquettes, il était possible aux hommes de se tenir debout au besoin, et si l'on construisait les voitures à deux étages. La longueur des wagons augmente alors la tendance au déraillement dans le passage des courbes de petit rayon, et l'on doit éviter de rendre les roues complétement solidaires de la caisse, et par suite les unes des autres, disposition qui ne leur permet de se mouvoir que dans des plans parallèles : il suffit pour cela de rendre les essieux susceptibles d'un mouvement de rotation horizontal, par un mécanisme produisant le même effet que les avant-trains des voitures ordinaires. En résumé, les conditions générales de la solution se présentent ainsi : construire avec le moins de frais possible des voitures d'une grande capacité et d'une solidité suffisante, pouvant voyager sur toutes les voies ferrées, quels que soient l'écartement des rails et la petitesse des rayons de courbure.

La question est encore loin d'être résolue ; la plus grande difficulté serait d'ailleurs dans les dépenses qu'occasionnerait la création d'un matériel destiné uniquement à la guerre. Cependant quelques personnes pensent que ces frais pourraient être assez largement compensés, en ce que, grâce à la promptitude des transports par les moyens nouveaux, les compagnies ne se verraient plus obligées, durant les hostilités, de supprimer pendant un temps à beaucoup près aussi long leur transit habituel.

II

L'ÉLECTRICITÉ.

Mines et torpilles sous-marines. — Les amorces du colonel Ebner. — Un rôle futur de la lumière électrique. — La télégraphie aérienne et la télégraphie électrique. — Les télégraphes en 1859 et en 1866. — Derniers progrès de la télégraphie militaire en France. — Conclusion.

Les applications de l'électricité n'apportent pas moins que les chemins de fer de nombreuses et fécondes ressources à l'art de la guerre. Pour n'en considérer que les plus importantes, citons la télégraphie militaire et la mise en œuvre des mines.

La pratique des mines, fréquente en campagne, est l'un des

éléments principaux d'une guerre de siéges. L'inflammation de ces sortes de bouches à feu souterraines s'opérait jusqu'à ces dernières années à l'aide d'un cordon rempli de poudre servant de porte-feu, cordon facile à placer, mais ne pouvant offrir une longueur assez considérable pour soustraire au plus grand danger l'individu chargé de mettre le feu. L'opération devenait même presque impossible dans certains cas, lorsqu'il s'agissait, par exemple, des mines sous-marines que l'on a souvent essayé d'établir pour la défense des côtes. On a pensé alors à produire l'inflammation en faisant jaillir au milieu de la charge une étincelle électrique. Ce procédé, très-simple en théorie, exige cependant que l'on satisfasse à deux conditions également importantes :

1° Assurer dans le circuit électrique une tension suffisante;

2° Assurer l'invariabilité de la distance qui sépare les deux fils entre lesquels doit jaillir l'étincelle, malgré les efforts auxquels ils peuvent être soumis lorsque la charge de poudre est comprimée sous l'action des eaux, des terres ou de son propre poids.

Les amorces du colonel Ebner, que l'on pouvait voir l'année dernière à l'exposition du ministère autrichien, résolvent le problème aussi complétement que possible. Chacun de ces petits appareils, éminemment portatifs, est formé d'une enveloppe en carton épais contenant une charge extrêmement inflammable; cette dernière est constituée par un mélange de chlorate de potasse et de sulfure d'antimoine, dont on augmente la conductibilité par l'addition d'un peu de plombagine. Elle est d'ailleurs diluée dans du verre grossièrement pilé. L'amorce, ainsi rendue à peu près incompressible, est traversée par deux fils dont les extrémités intérieures demeurent à une distance sensiblement invariable, et dont les bouts extérieurs, coupés assez courts, peuvent aisément être liés aux rhéophores d'une pile à bobine, ou à des conducteurs qui les mettent en relation avec une machine électrique. M. Ebner a pu ainsi amener à un degré élevé de perfectionnement la méthode essayée dès 1858 par le colonel français Verdu[1].

Les machines à frottement et les appareils magnéto-électriques offrent sur les piles un précieux avantage : ils peuvent développer,

[1] Voyez *Annuaire de* 1863. — E. Saint-Edme : *Les courants d'induction.*

en effet, à un moment déterminé, une haute tension, et permettent ainsi l'inflammation simultanée d'un grand nombre d'amorces dans le même circuit métallique; mais il faut ajouter qu'ils ne sont pas toujours d'un transport facile. Les premières, en particulier, sont extrêmement sensibles aux variations hygrométriques. Pour obvier à ces divers inconvénients, le colonel Ebner a construit des machines où l'électricité est produite par le frottement d'un cylindre en caoutchouc durci contre des coussins en fourrure; le tout, joint à un condensateur également en caoutchouc, est renfermé hermétiquement dans une boîte en tôle un peu plus grande qu'un havre-sac, et se porte de même sur le dos.

C'est au même officier que l'on doit les appareils électriques sous-marins ou *torpilles*, au moyen desquels on peut rendre facilement une côte inabordable. Dès 1859, il avait préparé pour la défense de Venise des cylindres flottants remplis de poudre, maintenus à une certaine distance de la surface par des chaînettes fixées à des ancres d'une forme spéciale. Chaque appareil, muni d'une amorce, pouvait être mis en communication avec un courant électrique, et la fermeture du circuit amenait immédiatement l'explosion. Ce système exigeait encore la connaissance du moment où l'ennemi arrivait dans la sphère d'action de la torpille[1]; mais, en 1866, le colonel Ebner imaginait de produire l'inflammation de l'amorce à l'aide du choc même du navire. On maintient alors chaque torpille en communication avec le courant, dès que le bâtiment hostile est signalé, et l'on termine le cylindre immergé par un appendice dont la partie extérieure est destinée à recevoir le choc. Alors, à l'intérieur, les parties métalliques se rapprochent et le circuit est fermé.

A côté de ces ingénieuses inventions, nous devons au moins mentionner les appareils à lumière électrique : ceux-ci, dans le

[1] Cette difficulté était résolue d'une façon fort ingénieuse dans les travaux de la défense de Venise. Un employé se tenait en permanence dans une salle d'observation. Cette salle formait chambre obscure; le port et la rade entière, au moyen de glaces convenablement disposées, venaient se dessiner sur une table horizontale que l'employé avait sous les yeux; il pouvait donc suivre sur cette table le mouvement de tous les vaisseaux. La position des torpilles y avaient d'ailleurs été préalablement répétée. L'employé voyait donc l'image du vaisseau s'approcher de l'image de la torpille et il n'avait, au moment voulu, qu'un bouton à presser pour provoquer l'explosion.

siége régulier le plus prochain, pourront apporter à la défense un précieux auxiliaire, en permettant aux assiégés de diriger de puissants faisceaux lumineux sur les travaux d'attaque, qui d'ordinaire trouvent dans les ombres de la nuit une protection efficace.

Mais c'est dans la télégraphie militaire qu'il faut chercher les applications les plus importantes de l'électricité : les divers systèmes de signaux que l'on a tour à tour imaginés depuis longtemps reposent presque tous sur l'interprétation d'un alphabet dont les caractères élémentaires sont constitués par des plaques ou des feux colorés, ou bien par les différentes positions d'un appareil analogue au télégraphe Chappe. Dans tous les cas, cet alphabet, nécessairement fort limité, doit être changé fréquemment si l'on veut qu'il échappe à la sagacité de l'ennemi. En outre, ces systèmes ne sont susceptibles d'utilité que pour des distances restreintes. Dès 1859, en Italie, les deux armées belligérantes, sans créer précisément un matériel nouveau, tiraient un parti considérable des lignes télégraphiques lombardes, ainsi que des approvisionnements, fils et piles électriques, qu'elles avaient pu amener sur le théâtre de la guerre. Dès le début, les employés civils chargés du service télégraphique de l'armée française précédèrent partout les mouvements des troupes et donnèrent les meilleures preuves de courage et de dévouement pendant tout le cours de cette campagne, où il leur arriva souvent d'amener leur embarrassant matériel dans une ville au moment même où l'ennemi l'évacuait par une autre porte. Le quartier général, même à l'époque où ses mouvements étaient le plus rapides, eut chaque jour ses communications assurées avec ses derrières et dans un grand nombre de cas des jonctions volantes furent établies entre les différents corps d'armée. Ces communications installées à propos rendirent quelquefois des services signalés. C'est ainsi notamment que pendant les manœuvres qui précédèrent la bataille de Magenta, le corps du général Mac-Mahon, qui avait passé le Tessin à Turbigo sur des ponts volants, put correspondre télégraphiquement avec le grand quartier général.

De leur côté, les officiers du génie autrichiens, dans les attributions desquels rentrait le service des dépêches, surent manifester la plus grande énergie pendant la suite des désastres qui accablèrent leur armée : A Magenta, à Solferino, on les vit rester jusqu'au

dernier moment à leur poste périlleux, interrompus seulement dans leur travail par l'irruption des troupes françaises ou la nécessité de dérober à l'ennemi un précieux matériel. On retrouve les traces de ce courage à la fois civique et militaire dans les lignes qui suivent, fragments de dépêches écrites à la station autrichienne de Magenta, sous l'émotion du combat acharné qui se livrait à côté :

« *4 heures du soir.* — Tout fuit en désordre, nous partons... « l'ennemi est à cent pas d'ici, je dois sauver ma vie.

« *4 heures 5 minutes.* — Galletta et moi tenons ferme... « Haschka et Gotzel cachent nos appareils. »

En Amérique et plus tard en Allemagne, les communications télégraphiques jouèrent un rôle bien plus important, et nécessitèrent un personnel particulier et un outillage spécial.

« Partout où s'arrête l'armée, » écrivait en 1866 le correspondant du *Times*, « on installe immédiatement le télégraphe et la poste. Dès que l'on a indiqué le lieu du quartier général, la division télégraphique se rend à la station permanente la plus proche ; de là elle établit à la hâte un fil jusqu'au logement du général en chef, qui, à peine arrivé, trouve les instruments prêts à fonctionner... » « Tout l'appareil est renfermé dans deux voitures légères dont l'une contient les piles, les cadrans, et sert de cabinet à l'officier *telegraphist*, tandis que l'autre est chargée des perches et des fils. Ces derniers sont roulés autour de grandes bobines mobiles, et se développent à mesure que la voiture avance. »

Les poteaux télégraphiques prussiens étaient posés à hauteur de bras seulement, pour rendre l'opération plus prompte. On peut juger du degré de rapidité qu'elle pouvait atteindre, par ce simple fait : Le 23, au matin, la frontière était encore occupée par les Autrichiens ; le 24, à midi, le château de Graferstein, à 5 milles de la station la plus proche, était en communication télégraphique directe avec Berlin.

Les dispositions précédentes ressemblent beaucoup à celles qu'avaient déjà employées les Américains, et tous les perfectionnements qu'on y a apportés dans ces derniers temps, notamment dans l'armée française, laissent subsister en général le type primitif. — On a toujours une voiture-bureau et des dévidoirs dont le fil se tend, soit sur des poteaux, soit sur les édifices, bâtiments

murs de toute sorte, dont on peut s'assurer la possession. Dans les cas où l'on est obligé de parcourir des voies non carrossables, on se sert de brouettes portant les dévidoirs.

Les mouvements presque continuels des troupes s'opposent à l'établissement de communications directes entre les corps deux à deux; mais on peut songer à relier chacun d'eux à un bureau principal qui fait partie du grand quartier général, mis lui-même en rapport constant avec la base d'opérations. Les déplacements des divers corps d'armée se traduiraient alors par des allongements ou des raccourcissements de chacune des lignes partielles; — les troupes placées à l'extrémité en mouvement se chargeant d'ailleurs de la pose ou de l'enlèvement du matériel, suivant le sens de leur marche.

C'est là précisement le problème qu'on a cherché à résoudre l'année dernière au camp de Châlons, problème dont la solution générale est des plus difficiles : l'énorme quantité de matériaux nécessaires, les chances nombreuses de rupture ou d'accidents divers, la surveillance active qu'il faut sans cesse exercer sur le parcours télégraphique, sont autant d'obstacles qui limitent les applications véritablement pratiques à des cas particuliers que l'on ne peut tous connaître d'avance.

Nous venons de parler des expériences de Châlons, qui pendant quatre mois consécutifs ont eu lieu sous la direction de M. le capitaine d'état-major Fix. Si elles n'ont pu aboutir à une solution entièrement parfaite de l'ardue et grave question des communications militaires, du moins ont-elles fait connaître aussi bien que possible les conditions matérielles les plus avantageuses de l'organisation d'un service télégraphique doué d'une grande mobilité. — Nous devons des détails intéressants et encore inédits à l'obligeance de M. le capitaine Le Mulier, l'un des cinq officiers d'état-major dont les récents travaux ont permis d'effectuer cette organisation.

Il est une exigence à laquelle doit tout d'abord satisfaire une ligne militaire : ne gêner en rien la circulation, ni sur la route, ni sur ses abords. — Dès lors, dans le cas des fils télégraphiques suspendus, la limite inférieure de la hauteur des poteaux est déterminée par la condition de laisser passer librement fantassins et cavaliers : on leur donne 3^{m} 75. — Ces poteaux ou *lances*, amenés dans des voitures spéciales contenant en outre un

approvisionnement de bobines, ou même fabriqués sur place, sont revêtus à leur pied d'un sabot aigu en fer que l'on enfonce dans le sol, tandis que le sommet est coiffé d'un isolateur en caoutchouc sur lequel on fait faire un ou deux tours au fil. De petits piquets assujettissent plus fortement chaque pied de lance.

La construction d'une ligne suspendue peut ainsi se faire à raison de 2 kilomètres à l'heure. — C'est dire que ce système n'est praticable qu'autant que l'on a du temps devant soi, ou que les distances à franchir sont peu considérables.

On arrive à des résultats beaucoup plus prompts en substituant aux fils suspendus un câble rampant sur le sol parcouru par le corps d'armée : ce câble peut être disposé le long du jalonnement naturel fourni par les pieds des arbres, sur les chemins plantés, — ou même au fond des fossés, si les bords de la route sont libres; dans le premier cas surtout, le conducteur électrique est exposé à mille accidents; au piétinement des chevaux, au passage des voitures, etc. Aussi, avant d'obtenir un câble offrant sous un faible diamètre une résistance suffisante à la rupture et surtout à l'écrasement, a-t-on dû recourir à des essais répétés. — Laissons de côté tous les intermédiaires rejetés pour diverses raisons, et arrivons au modèle qui paraît satisfaire pleinement aux conditions de la question :

Le diamètre des meilleurs câbles, d'après le capitaine Fix[1], varie de 4^{mm},75 à 5 millimètres, il est constitué par sept fils de fer tordus ensemble, dont la résistance à la traction est bien supérieure à celle des fils du cuivre, puis garnis d'une gaîne isolante en caoutchouc; le tout, enveloppé dans une sorte de bourre végétale, est fortement serré par deux rubans de coton enduits de caoutchouc et superposés de façon que les spires de l'un recouvrent les joints de l'autre[2]. — Le conducteur ainsi obtenu peut être impunément exposé sur une route aux chances d'écrasement ou immergé dans un cours d'eau, il peut supporter une traction de 100 kilogrammes. L'immersion, qui simplifie la pose

[1] *La Télégraphie militaire*, par le capitaine Fix. — Toucra, éditeur.

[2] D'après les derniers renseignements que nous obtenons, ce sont les fils en cuivre galvanisés qui ont été adoptés pour former le conducteur métallique : plus facilement rompus que les fils de fer sous des efforts de traction, ils présentent une plus grande résistance aux chances d'écrasement et de coupure, les plus à craindre, ainsi qu'on peut aisément le comprendre.

du câble, devra être employée aussi souvent que possible.

Chaque voiture-poste porte huit bobines, sur chacune desquelles s'enroulent de 1,100 à 1,200 mètres de câble, d'un poids d'environ 50 kilogrammes par kilomètre. A mesure que la voiture avance, on dévide le câble, on le pose, et de distance en distance il est fixé au sol à l'aide de *cavaliers* en fer, sortes de doubles clous que l'on ne saurait mieux comparer qu'à des épingles à cheveux. — Lorsqu'on vient d'épuiser une bobine, et que l'on commence à en dévider une autre, les deux bouts de câble sont reliés par la torsion pure et simple des parties métalliques, préalablement mises à nu sur une longueur de quelques centimètres, et décapées avec une lame de couteau. Le joint de prolongement est ensuite placé dans une sorte de douille dont les extrémités en caoutchouc serrent assez fortement le câble pour rendre ce joint parfaitement étanche. — La petite opération que nous venons de décrire dure ainsi à peine trois minutes, et n'empêche nullement la pose du fil de se continuer en avant. — Pour l'appareil de transmission des dépêches, renfermé dans le premier compartiment de la voiture-poste, c'est le système Morse qui a donné les meilleurs résultats : il n'exige qu'un petit espace, conduit à un maniement très-simple, et, ce qui est capital, il laisse une trace écrite de la dépêche. Le manipulateur est fixé à la table de la voiture au moyen de socles en caoutchouc destinés à amortir les chocs. — La communication avec la terre s'établit par l'intermédiaire de l'essieu et des roues.

La mise en place du câble s'effectue aisément avec une vitesse de 4 kilomètres à l'heure, vitesse suffisante pour permettre à la brigade télégraphique de précéder ou de suivre les troupes dans leurs mouvements. — Dans chaque corps d'armée, le service des deux lignes (ligne rampante et ligne suspendue) exige seulement 3 officiers, avec l'effectif d'une compagnie et 8 ou 10 voitures.

Les expériences de Châlons sont venues montrer une fois de plus l'aptitude et l'habileté que pouvaient déployer nos soldats comme ouvriers, nos officiers comme ingénieurs. Le résultat est fait pour rassurer pleinement les plus intéressés, même parmi ceux qui craignaient que l'on ne fût obligé d'adjoindre aux troupes en campagne des corps civils spéciaux, en vue des communications télégraphiques. — En un mot, tant qu'il ne faut que de l'intelligence, de l'énergie, notre armée est capable

de tirer de son propre sein toutes ses ressources. En raison même de cela, nous regrettons amèrement l'époque tardive à laquelle se sont produits les travaux dont nous venons de dire quelques mots. — On n'a pas oublié l'émotion universelle qui accompagna les derniers temps de la guerre de sécession ; on se rappelle combien chacun fut frappé du degré de puissance que les forces industrielles avaient mis entre les mains de quelques chefs. Partout les essais, les perfectionnements se multiplièrent. — Comment la France suivit-elle le mouvement général? Non-seulement elle n'en donna point les premiers élans, mais, aujourd'hui même, la science des moyens de guerre moderne est circonscrite entre quelques-uns à peine de nos officiers. Il y a quatre ans que les Prussiens ont introduit ces notions dans leurs écoles militaires, et la campagne de 1866 a vu apparaître tout un essaim de jeunes officiers capables de rendre les plus grands services.—En France, il est une pépinière féconde, l'école de Metz, où, à côté d'un enseignement vigoureux pour tout ce qui concerne l'artillerie, la fortification, etc., l'enseignement des choses nouvelles commence à peine à végéter; c'est à peine si en 1868 les sous-lieutenants élèves du génie ont été exercés aux manœuvres de destruction et de rétablissement des voies. — De l'art des chemins de fer, qui offre de si intéressants et si nouveaux développements au point de vue militaire, ils ne reçoivent encore que les notions les plus universellement répandues, celles que l'on pourrait appeler des *lieux communs* scientifiques. L'étude de la télégraphie n'a jusqu'ici figuré que sur les programmes de l'École. Cependant, depuis quatre ans, il est sorti de Metz environ 350 officiers qui, en cas d'hostilités, pouvaient être appelés à s'assimiler en quelques jours, en quelques heures peut-être, une pratique inconnue. L'armée française, il est vrai, a toujours montré une remarquable aptitude à apprendre, sur le champ de bataille même, l'usage des ressources nouvelles; mais cela suffit-il? Pourquoi, après tant d'ardeur, tant d'énergie au moment de l'action, trouver cette insouciance, et, disons le mot, cette apathie durant les loisirs de la paix? Ce ne sont pourtant pas des innovations coûteuses que celles qui n'exigeraient qu'un peu d'initiative chez les supérieurs, un peu d'activité chez les subalternes, pour relever nos intelligents officiers de l'état d'infériorité relative dans lequel ils se trouvent. En dehors même des avantages dont une guerre éven-

tuelle eût pu faire regretter l'absence, sait-on tout ce qu'un enseignement éclairé eût fait surgir d'idées neuves et précieuses? — On vient d'instituer quelques conférences dans les régiments; on organise en ce moment même les services de la télégraphie et des voies ferrées : ce n'est pas encore assez. — C'est surtout vers nos écoles de l'Est que nous devrions porter les yeux : c'est là que l'État doit trouver chaque année, pour nos corps spéciaux, de jeunes et savants officiers; c'est là qu'il serait le plus facile de greffer sur la connaissance générale de l'art militaire, la pratique des plus récentes applications, — c'est de là aussi que l'on entend le mieux ce refrain railleur: « *Langsam, nur langsam, woran,* » qui, en Allemagne, poursuit les Autrichiens depuis Sadowa.

Nous ne voudrions pas être accusé d'excitation à la guerre; mais, quelque ami que l'on soit de l'humanité, quelque désir que l'on éprouve de voir les choses comme elles devraient être, la réalité ne s'en impose pas moins. Les rêves de l'abbé de Saint-Pierre ne sont pas près d'éclore; le règne des luttes internationales paraît loin de s'achever. — La perfection des moyens les a-t-elles rendues plus meurtrières? — Non, et il ne serait pas difficile de prouver que les campagnes courtes et décisives d'aujourd'hui portent en réalité avec elles moins de fléaux que les sanglantes et interminables guerres du moyen âge. En présence de l'histoire militaire de tous les pays, n'oublions donc pas que dans la voie du progrès, s'arrêter, c'est aller à reculons.

JULES DALSÈME.

PHYSIQUE APPLIQUÉE

I

L'ACOUSTIQUE MUSICALE

ÉTUDES SUR LES CAUSES DES DISSONANCES ET DES CONSONNANCES DES SONS MUSICAUX.

Théorie physiologique de la musique, par H. Helmholtz; traduit de l'allemand par M. G. Guéroult, avec le concours de M. Wolff [1].

Depuis bien longtemps, les philosophes et les savants ont recherché les causes des sensations particulières que procure la musique : depuis Pythagore qui voyait dans les nombres seuls le principe de toute harmonie, depuis Aristote jusqu'à nos jours, des théories de nature diverse ont prétendu expliquer soit la création de la gamme, base de la mélodie, soit le sentiment des accords sur lequel est fondée l'harmonie. Les principes les plus différents ont été invoqués, sans que des nombreux ouvrages ou mémoires dans lesquels ces questions étaient traitées, la science et l'art musical aient pu déduire aucune conséquence certaine : non pas que les expériences ou les observations de Bacon, Galilée, Gassendi, Newton, Sauveur, Savart et Chladni, pour ne citer que les principaux savants qui se sont occupés d'acoustique, n'aient fourni de précieuses données ; mais pour la plupart ces notions se rapportent à un son quelconque isolé sans que l'on puisse rien conclure sur les sensations produites par plusieurs sons successifs ou simultanés, en un mot, sur la musique. Les systèmes qui ont pris naissance pour expliquer les impressions musicales avaient pour la plupart un grave défaut : basés sur des conceptions purement théoriques et n'empruntant rien à l'expérience, ces systèmes

[1] 1 vol. in-8. — Masson, 1868.

étaient en quelque sorte artificiels ; ils expliquaient certains faits, ceux précisément que leurs auteurs avaient en vue, mais se trouvaient souvent en contradiction formelle avec quelques autres plus ou moins importants. Il devait en être ainsi ; la musique étant un art basé uniquement sur des faits fournis par l'expérience, ne peut admettre que des explications qui s'appuient sur des données pratiques.

Prenant pour point de départ ce fait expérimental qu'une corde en vibrant fait entendre, outre un son propre plus intense, divers sons plus aigus et plus faibles, Rameau, qui fut un habile théoricien en même temps qu'un grand compositeur, imagina un système, bien supérieur à la plupart de ceux qui l'ont précédé ou suivi, mais cependant incomplet.

De nos jours enfin, l'acoustique musicale a fait d'immenses progrès, grâce aux récentes découvertes de M. Helmholtz, découvertes qu'un intéressant article de M. Rayet[1] a fait connaître aux lecteurs de l'*Annuaire*. Ces connaissances nouvelles ont permis à M. Helmholtz de reprendre en les complétant et en les étendant les travaux de Rameau et de donner des explications plausibles des phénomènes produits par l'audition des sons isolés ou réunis. « *La théorie physiologique de la musique*, » ouvrage écrit en allemand, vient d'être traduit en français, ce qui lui donne une nouvelle actualité et fournit une occasion toute naturelle de revenir sur certaines questions qui n'ont été qu'indiquées dans l'article que je citais tout à l'heure, et dont l'explication musicale, je dirais presque esthétique, pour être basée sur des expériences incontestables, ne possède cependant pas tous les caractères de la certitude absolue. Il faut dire que si quelques conclusions choquent les idées généralement reçues par les musiciens, cela tient à ce que ceux-ci n'ont pas eu l'occasion de se placer dans les conditions mêmes indiquées par M. Helmholtz : je reviendrai du reste avec quelques détails sur ce point.

I

La première partie de la *théorie de la musique* contient l'exposé des découvertes expérimentales de M. Helmholtz sur les procédés

[1] *Annuaire scientifique*, 1866.

de recherche des sons simples, sur leur application à l'étude des harmoniques, sur le timbre des sons ; une théorie de l'audition, basée sur de récentes découvertes anatomiques, termine cette partie.

Je vais rappeler succinctement les faits principaux contenus dans ces premiers chapitres et les conclusions que l'on en peut déduire, renvoyant pour des explications plus complètes et pour le détail des expériences à l'article inséré par M. Rayet dans ce recueil.

Lors de la production d'un son, l'oreille entend tout d'abord ce son lui-même qui donne la sensation de hauteur; mais, en général, une oreille exercée et prévenue distingue une série d'autres sons plus faibles d'intensité : l'emploi de certains appareils spéciaux, les *résonnateurs*, par exemple, facilite singulièrement la recherche de ces sons accessoires. Ces sons ont reçu le nom d'*harmoniques* et on les distingue par le rang qu'ils occupent dans la série complète de chaque son principal ou fondamental ; les harmoniques sont liés au son fondamental par cette relation que les nombres de leurs vibrations sont les multiples successifs des nombres de vibrations du son fondamental. Les sons produits par les divers instruments ne présentent pas cette série entière, ou bien les divers harmoniques possèdent des intensités relatives différentes : c'est à cela justement que M. Helmholtz attribue la cause du timbre. Il a reconnu que les sons *sourds*, peu agréables à entendre isolés, comme ceux du diapason, de la flûte, sont simples, c'est-à-dire ne sont point accompagnés d'harmoniques ou du moins que leurs harmoniques sont faibles ; les sons *pleins*, comme le sont ceux des instruments à cordes, possèdent au contraire un grand nombre d'harmoniques ; on peut quelquefois distinguer jusqu'au douzième de ces sons ; enfin les sons *mordants* du hautbois, des instruments en cuivre sont caractérisés par une intensité relativement considérable des harmoniques élevés. Les principaux timbres ont pu de cette façon être différenciés dans leurs causes et M. Helmholtz a donné une grande certitude aux conclusions dont nous venons d'énoncer les résultats généraux en opérant la synthèse de sons de timbres variables. Par des moyens spéciaux et que je ne puis même indiquer, il pouvait obtenir une série de sons simples, série qui était précisément celle d'un son fondamental et de ses huit premiers harmoniques ; en produisant, outre le son fondamental, un ou plusieurs de ses harmoniques, en faisant varier

leurs intensités relatives, il est parvenu à reproduire la plupart des timbres divers dont il avait fait l'analyse précédemment ; il est plus que probable qu'il serait arrivé à une plus grande variété s'il avait pu adjoindre des harmoniques d'ordre plus élevé.

L'étude des timbres peut donc être considérée comme complète, et je regrette de ne pouvoir insister plus longuement sur ces expériences élégantes qui ont éclairé tout à coup un sujet resté jusque-là complétement obscur.

Enfin, j'omets à dessein, et parce qu'elles ne se rapportent que fort indirectement au sujet que je veux plus spécialement traiter, les études analytiques et synthétiques de M. Helmholtz sur le timbre des voyelles.

L'audition d'un son fourni par un instrument quelconque est donc complexe en général puisqu'elle correspond à l'audition simultanée du son principal et des harmoniques émis en même temps. La théorie physique et physiologique de cette sensation telle qu'on la pouvait donner autrefois ne permettait de rendre compte que fort imparfaitement des phénomènes observés ; les explications semblent au contraire simples et complètes si l'on admet les hypothèses qui ont été suggérées par de récentes recherches anatomiques.

Les extrémités des nerfs de l'audition sont reliées à des organes particuliers d'une grande délicatesse (fibres de Corti, etc.), situés dans l'oreille interne ; la membrane du tympan et les osselets communiquent les vibrations de l'air extérieur à ces fibres qui sont environ au nombre de trois mille. On admet que chacune de ces fibres est susceptible de vibrer pour un son particulier, d'ébranler ainsi le filet nerveux correspondant et de mettre en jeu son activité propre. Un seul filet nerveux sera donc excité par la production d'un son simple émis dans le voisinage ; si le son produit est complexe, chacune des fibres correspondant au son principal et à ceux de ses harmoniques qui l'accompagnent entrera en vibration et fera naître la sensation spéciale dans le filet nerveux sur lequel elle se termine. L'hypothèse ne doit rien chercher à expliquer davantage et il n'est plus du domaine de la science de rendre compte comment ces ébranlements de filets nerveux se transforment en sensations auditives.

Pour que cette explication du jeu des fibres de Corti puisse être admise, il faut qu'elle rende compte de tous les faits observés et

en particulier du suivant : entre des limites fort étendues l'oreille est sensible à *tous* les sons. Quelque grand que soit le nombre des fibres de Corti et par suite quelque rapprochés que soient les sons qui les font vibrer, il existerait des sons intermédiaires auxquels ne correspondrait aucune fibre et qui, par suite, ne seraient point entendus, si les fibres de Corti étaient analogues à des diapasons, à des verges sonores, qui ne peuvent vibrer que sous l'influence d'un *seul* son. Mais par leur nature, elles doivent bien plutôt être comparées à des cordes fines, à des membranes qui sont ébranlées par une série de sons dans une faible étendue. Dès lors la production d'un son ébranle plusieurs fibres de Corti aussi bien dans le cas où il correspond exactement à l'une de ces fibres que s'il correspond à un son intermédiaire : dans tous les cas, par suite, les sons doivent être entendus; l'oreille est donc sensible à la suite *continue* des sons. Pas plus que précédemment l'hypothèse n'a à expliquer comment les ébranlements simultanés de plusieurs filets nerveux donnent naissance à une sensation unique : cette recherche est ultra-scientifique.

Il faut signaler l'analogie complète entre cette explication du rôle des fibres de Corti et l'hypothèse de Young au sujet de la vision des couleurs.

On ne peut passer sous silence une expérience directe qui tend à confirmer la réalité de cette explication. Certains crustacés, tels que les crabes par exemple, présentent en divers points de petits crins rigides qui sont considérés comme des organes d'audition. M. V. Hensen a exécuté une série d'expériences sur ces crins auditifs du mysis, animal de l'ordre des décapodes et assez semblable à la salicoque. Les sons émis par un cor à piston étaient transmis, au moyen d'une disposition spéciale, à l'eau d'une petite caisse dans laquelle était fixé un mysis ; et l'on observait au microscope les mouvements des crins de la queue. On reconnut que certains sons du cor faisaient vibrer certains crins, que d'autres mettaient d'autres crins en vibration. Chaque crin était sensible à l'action de plusieurs sons, ce qui, par la considération des harmoniques permit de fixer exactement la note suivant laquelle chacun de ces crins était accordé. Ces expériences sont fort intéressantes, à ce point de vue surtout qu'elles nous renseignent sur les propriétés de ces organes et leur mode d'action, et que l'on ne peut guère espérer arriver à une conclusion

confirmée directement chez les animaux supérieurs, à cause de la position cachée de ces organes fragiles.

Dans un des chapitres de son ouvrage, M. Helmholtz fait remarquer que, quoique dans ses raisonnements il suppose toujours la vérité de l'hypothèse que nous venons d'indiquer, cependant ses conclusions demeureraient toutes intactes alors même que de nouvelles découvertes conduiraient à l'adoption d'une hypothèse différente. Cette remarque est capitale et rend presque forcément admissibles ces conclusions basées sur l'expérience seule.

II

La deuxième partie du livre de M. Helmholtz, de beaucoup la plus importante au point de vue musical, traite des sons simultanés et des effets produits par leur émission.

Sorge et un peu plus tard Tartini, vers le milieu du dix-huitième siècle, découvrirent que deux sons suffisamment intenses et prolongés donnent naissance par leur audition simultanée à un ou plusieurs autres sons que M. Helmholtz a désignés sous le nom de *sons résultants différentiels* et qui diffèrent en général de chacun des sons et de leurs harmoniques, ce dont il est facile de s'assurer en ce qu'ils cessent aussitôt que l'un des deux sons est éteint pour être de nouveau distincts lorsque ce son se reproduit. Cet effet est sensible pour toute oreille exercée ; le son résultant est en général plus bas que les sons qui le fournissent : ces sons résultants correspondent à un nombre de vibrations égal à la différence des nombres de vibrations des sons composants. M. Helmholtz a découvert une autre série de sons, plus aigus que les sons composants et auxquels il a donné le nom de *sons résultants additionnels*. Ces sons, dont les nombres de vibrations sont égaux à la somme des nombres de vibrations des sons composants, sont beaucoup plus difficiles à saisir que les sons différentiels, et nous connaissons des personnes possédant une oreille fort exercée qui ne les ont jamais entendus. Dans tous les cas, ces sons additionnels ayant une très-faible intensité sont de peu d'intérêt au point de vue des applications.

Les sons différentiels sont-ils subjectifs ou objectifs? Prennent-

ils naissance dans notre oreille seulement, ou sont-ils produits par l'instrument même qui émet les sons composants? Cette question est plus importante qu'elle ne le paraît au premier abord à cause des conséquences que M. Helmholtz en déduit. Suivant lui, les sons résultants peuvent se composer entre eux également et donner naissance à de nouveaux sons résultants, ce qui ne peut s'expliquer que s'ils ont une existence propre, que s'ils sont objectifs; ces sons résultants, de second ordre pour ainsi dire, jouent un grand rôle dans l'explication de la consonnance et de la dissonance et sont une des bases de la théorie de M. Helmholtz. Les explications qu'il donne dans le cas où le son résultant provient de deux notes fournies par un même instrument, comme un harmonium, ou comme la sirène polyphone, sont fort concluantes : le son résultant est alors sans contredit objectif. Mais lorsque les sons qui par leur existence simultanée produisent un son résultant proviennent d'instruments différents, ce n'est que dans l'oreille que peut se produire ce son résultant, ainsi que M. Helmholtz le reconnaît : il semble, au premier abord, que dès lors ce son est subjectif; cependant il faut remarquer que la membrane du tympan et les osselets qui vibrent sous la double influence des sons composants, quoique appartenant au sujet qui éprouve la sensation, ne sont point l'organe sensitif lui-même et que par rapport à cet organe, les fibres de Corti, les mouvements du tympan et des osselets sont parfaitement objectifs.

Une expérience met en évidence la différence entre ces deux espèces de sons résultants : un résonnateur accordé à l'unisson du son résultant le renforce très-notablement lorsqu'il est produit par un harmonium ou par la sirène, ce qui prouve son existence propre, tandis que l'effet est presque nul lorsque ce son est produit par deux instruments différents. Une objection se présente aussitôt à l'esprit ; c'est que si le son résultant est produit dans l'oreille, il ne devrait nullement être renforcé ; cette objection n'a que peu de valeur suivant M. Helmholtz qui fait remarquer que la membrane du tympan, en même temps que par ses vibrations composantes elle agit sur l'oreille interne et les fibres de Corti, peut et doit même d'autre part agir sur l'air extérieur et par exemple sur l'air d'un résonnateur placé à l'oreille et le mettre en vibration si ses dimensions correspondent à ce son résultant.

En somme, il résulte des explications précédentes que dans tous

les cas, d'après M. Helmholtz, les sons résultants doivent être considérés comme objectifs par rapport à l'organe destiné à la perception des sons.

Occupons-nous maintenant d'un autre phénomène, celui des *battements*, qui a une importance capitale pour l'explication des dissonances. Si les sons composants sont très-rapprochés, les vibrations agissent simultanément sur les mêmes fibres nerveuses, puisque, nous l'avons dit, ces fibres sont susceptibles d'être ébranlées par plusieurs sons voisins consécutifs et, ajoutant leurs effets ou les retranchant successivement, viennent à produire des maxima et des minima d'ébranlement qui constituent les *battements*. Le nombre de ces battements égale la différence des nombres de vibrations des sons qui les produisent. Ce nombre qui peut être très-faible peut s'accroître notablement sans que l'on cesse d'entendre les battements ; l'oreille peut distinguer dans des conditions convenables jusqu'à 132 battements ; au delà elle les confond et ne s'en rend point compte : ainsi les nerfs de l'audition sont capables d'éprouver jusqu'à 132 sensations par seconde ; ce qui est bien supérieur comme sensibilité aux nerfs de la vue ou du toucher. Ces battements ne peuvent être séparés, comptés jusqu'à cette limite, mais ils donnent une sensation de roulement particulière : c'est ainsi que si l'on appuie les doigts sur une roue dentée qui tourne, on aura la sensation de secousses distinctes longtemps après qu'on ne pourra plus compter ces secousses ; mais à partir d'une certaine vitesse, on n'aura plus qu'une sensation continue.

Nous devons insister sur la différence entre les vibrations d'un son résultant et les battements, différence d'autant plus importante à établir que les nombres des uns et des autres étant tous les deux égaux à la différence des nombres de vibrations des sons composants, on peut être porté à les confondre. Les sons résultants, toujours objectifs par rapport aux nerfs de l'audition, proviennent de la vibration propre de fibres qui ne sont point celles que mettent en mouvement les sons composants ; les battements proviennent des maxima et minima d'ébranlement que les sons composants, agissant simultanément sur les mêmes fibres quoique inégalement, font éprouver à ces fibres mêmes qui les transmettent aux filets nerveux.

Ces maxima et ces minima ne sont point seulement subjectifs, ils doivent exister également pour les vibrations de l'air, de la

membrane du tympan et, par suite de leur objectivité, devraient donner naissance à des vibrations propres d'autres fibres, en un mot produire des sons résultants. M. Helmholtz ne parle pas de cette conclusion qu'il serait cependant intéressant de vérifier, ce qui serait facile pour les cas où les battements sont en nombre assez considérable, dépassant par exemple 40 ou 50 par seconde.

C'est lorsque les battements sont au nombre de 30 à 40 par seconde que l'oreille éprouve la plus grande sensation de dureté ; mais il n'y a rien là d'absolu, la sensation varie d'une manière très-notable avec le nombre des vibrations de chaque son et devient moins dure quand ce nombre diminue : le résultat peut se comprendre en ce qu'il faut dans les notes basses prendre deux sons très-différents de hauteur pour obtenir ce nombre de battements, et dès lors les mêmes fibres de Corti ne vibrent pas simultanément pour ces deux sons ou du moins vibrent faiblement.

Pourquoi ce nombre de 33 battements par seconde produit-il une sensation si désagréable en général? il suffirait de prouver que cela est réellement sans qu'il soit nécessaire d'en rechercher la raison, ce que M. Helmholtz a fait cependant en montrant des effets analogues qui sont manifestes pour les nerfs d'une autre nature ; il rappelle en effet l'impression désagréable, fatigante, qui résulte de la sensation produite par une lumière papillotante, même d'une faible intensité ; l'effet du chatouillement provient aussi d'une excitation intermittente des nerfs du toucher. La sensation dure qui correspond aux battements rentre dans le même genre de phénomènes qui semblent dès lors caractéristiques de notre système nerveux.

Lorsque les sons émis sont complexes, c'est-à-dire sont accompagnés d'un certain nombre d'harmoniques, des phénomènes de battements peuvent également prendre naissance lorsque deux des harmoniques émis sont assez rapprochés. Mais il faut tenir compte dans ce cas de la diminution d'intensité des harmoniques à mesure qu'ils sont d'un ordre plus élevé, diminution qui peut rendre complétement insensibles les battements résultants. En étudiant avec soin les battements produits par les premiers harmoniques, il est facile de reconnaître que dans l'octave et la quinte aucun battement ne prend naissance. Il en est de même pour les sons qui correspondent à des octaves supérieures de la première

octave ou de la quinte. C'est à cette propriété que les accords correspondants doivent leur caractère particulier de consonnance. Mais dans ces accords certains harmoniques sont spécialement renforcés et d'après le rang de ces harmoniques d'intensité plus considérable on éprouve des sensations spéciales qui différencient, par exemple, l'accord de quinte de l'accord de douzième.

Les battements produits par les harmoniques ne suffisent pas pour classer les accords de deux notes ; il faut encore tenir compte du rang des premiers harmoniques communs à ces deux notes. Deux notes sont d'autant plus agréables à entendre simultanément que les premiers harmoniques communs sont d'ordre moins élevé. Ainsi dans l'octave le premier harmonique du son grave coïncide exactement avec le son aigu ; dans l'accord de quinte le second harmonique du son grave est la même note que le premier du son aigu; par l'accord de quarte, la coïncidence est encore reculée d'un rang et la sensation est incontestablement moins consonnante que par les accords précédents. Mais on pourrait attribuer cette différence pour la plus grande part sinon pour la totalité aux battements produits par les harmoniques inférieurs. Ainsi l'accord *ut*, *fa* présente les harmoniques suivants :

$$\begin{matrix} ut_1 & & ut_2 & & sol_2 & ut_3 \\ & fa_1 & & fa_2 & & ut_3 \end{matrix}$$

la coïncidence des harmoniques a lieu sur ut_3 seulement ; mais auparavant les deux notes fa_2, sol_2 donnent des battements auxquels on pourrait attribuer la consonnance moindre que pour la quinte. Des remarques du même genre pourraient être faites pour la sixte majeure

$$\begin{matrix} ut_1 & & ut_2 & sol_2 & & ut_3 & mi_3 \\ & la_1 & & & la_2 & & mi_3 \end{matrix}$$

pour laquelle la coïncidence a lieu sur le 4e harmonique du son grave et le 2e du son aigu, mais qui présentent auparavant les notes sol_2, la_2 qui produisent des battements.

On peut faire comprendre, prouver expérimentalement aussi, que cette coïncidence dont on ne se rend cependant que difficilement compte à l'oreille joue un rôle très-important, et je dois avouer que cette influence n'est peut-être pas mise assez en évidence dans le livre de M. Helmholtz ; que du moins pour ma part,

il m'a été impossible de comprendre la valeur de ce caractère et que j'ai dû recourir aux explications obligeantes du traducteur, M. Guéroult. On peut mettre hors de doute l'influence très-prépondérante de cette coïncidence en étudiant l'effet produit lorsque l'on vient à fausser légèrement l'une des notes de l'accord. Les battements des premiers harmoniques subissent à peine des variations insignifiantes, et cependant l'accord devient manifestement dissonant : puisque les battements sont presque les mêmes, ce changement de la consonnance en dissonance ne peut provenir que de ce que la coïncidence qui existait précédemment entre certains harmoniques n'a plus lieu, et qu'elle est reportée à des harmoniques d'ordre beaucoup plus élevé. Ainsi, dans un accord de deux notes, deux parties distinctes concourent à produire le sentiment de la consonnance ou de la dissonance : les battements des harmoniques et l'ordre du premier harmonique commun ; cette dernière considération étant d'une importance capitale, quoique au premier abord, et par suite de l'intensité plus grande des premiers harmoniques, on soit porté à penser que le contraire a lieu ; le calcul, mais surtout l'expérience ne laissent aucun doute à cet égard et donnent raison aux théories de M. Helmholtz.

C'est à ce chapitre que l'on doit reporter l'une des objections les plus acharnées que les musiciens ont faites à M. Helmholtz au sujet de la consonnance des tierces, M. Helmholtz prétendant, contrairement à l'avis général, que la tierce mineure est moins consonnante que la tierce majeure. La théorie sans aucun doute donne raison à M. Helmholtz. En effet dans la tierce majeure *ut*, *mi* on a :

ut_1		ut_2		sol_2		ut_3		mi_3
	mi_1		mi_2		la_2			mi_3

la coïncidence a lieu au 4ᵉ harmonique du son grave *ut*, et au 3ᵉ du son aigu *mi*. Dans la tierce mineure, on trouve :

ut_1		ut_2		sol_2		ut_3		mi_3		sol_3	$si_3\flat$
	$mi_1\flat$		$mi_2\flat$		$si_2\flat$		$mi_3\flat$		sol_3		$si_3\flat$

la coïncidence ne se présente qu'entre le 6ᵉ harmonique du son grave *ut* et le 5ᵉ du son aigu *mi* ♭.

Cette conclusion est en général rejetée très-vivement par les musiciens, qui considèrent les tierces majeures ou mineures comme également consonnantes. Il n'est pas possible de décider qui a tort ou qui a raison d'une manière absolue, et je ne puis ici que donner mon impression et mon opinion personnelle. Jusqu'à ces derniers temps, j'avais considéré incontestablement les deux genres de tierces comme également consonnantes; mais une étude attentive, faite sur divers instruments et en particulier sur un harmonium à sons parfaitement *justes* que M. Guéroult a fait construire d'après les idées générales développées par M. Helmholtz, a complétement changé mon opinion et je suis persuadé maintenant qu'une tierce majeure *juste* est plus consonnante qu'une tierce mineure.

On peut se rendre compte de ce changement d'opinion en remarquant que l'on a bien rarement l'occasion d'entendre une tierce majeure juste (M. Helmholtz désigne ainsi l'accord formé par une note et la double octave inférieure de son 4e harmonique, notes dont les nombres de vibrations sont dans le rapport de 4 à 5). Le piano et l'orgue, par suite de leur tempérament égal, donnent une tierce majeure fausse (les notes qui la composent présentent des nombres de vibrations dont le rapport est celui de 1 à 1,260 au lieu de 1 à 1,250); les voix, généralement habituées à suivre l'un ou l'autre de ces instruments, présentent la même différence: les instruments à cordes, le violon et le violoncelle donnent en général la tierce pythagoricienne (cette tierce est constituée par un son et la double octave inférieure de la 4e quinte juste faite à partir du premier son, par exemple ut_1 et mi_1, mi_1 étant la double octave inférieure de la note mi_3 donnée par la série de quintes ut_1, sol_1, $ré_2$, la_2, mi_3: les nombres de vibrations qui constituent la tierce pythagoricienne sont dans le rapport 1 à 1,2656). Ni la tierce tempérée, ni la tierce pythagoricienne ne valent mieux que la tierce mineure, et là est peut-être la cause de cette différence d'opinion qui n'a pas peu contribué, à mon avis du moins, à faire rejeter par les musiciens les théories de M. Helmholtz.

Il faut prouver également que la tierce juste de M. Helmholtz est bien en effet la tierce des musiciens et non un intervalle inusité et employé pour les besoins de la cause seulement. Les expériences du docteur Möhring tendraient à faire adopter la tierce

pythagoricienne ; en revanche les travaux de Delezenne[1] concordent parfaitement avec la gamme juste de M. Helmholtz ; celui-ci a fait des essais en faisant exécuter sur le violon des gammes à des artistes habiles, M. Joachim entre autres, et a trouvé une concordance complète entre les sons ainsi produits et ceux de l'harmonium juste ; des conclusions semblables ont été déduites de l'observation des notes émises par les chœurs de la *Tonic-solfa Association* de Londres qui chantent toujours sans accompagnement et ne sont ainsi nullement forcés d'adopter un système plutôt qu'un autre.

Il faut reconnaître du reste que dans une suite de notes isolées il n'est pas facile de donner très-exactement le son que l'on veut, alors que ce son n'est ni l'octave, ni la quinte, ni la quarte du précédent ; autrement dit qu'une mélodie change à peine quelle que soit la gamme que l'on emploie.

Je suis par ces diverses raisons porté à conclure que la gamme juste de M. Helmholtz est la gamme des musiciens et je suis convaincu après expérience que dans cette gamme la tierce majeure est plus consonnante que la tierce mineure.

Mais revenons aux causes de la consonnance, aux battements et aux sons résultants. S'il faut adopter pour les causes de la consonnance et de la dissonance les battements des harmoniques et surtout la concordance de certains d'entre eux, comment expliquer les effets produits par des sons simples, non accompagnés d'harmoniques : deux sons devraient toujours produire des effets analogues, à la condition d'être assez éloignés pour ne pas donner de battements. Dans ce cas, il faut faire intervenir les sons résultants différentiels des divers ordres qui peuvent donner naissance à des battements assez intenses soit en se combinant entre eux ou avec l'un des sons composants. C'est pour cette explication, très-plausible, du reste, qu'il était indispensable d'insister quelque peu sur l'objectivité des sons résultants. D'après le nombre des battements, leur intensité, les sons pourront sembler plus ou moins consonnants. Mais, le caractère ne sera cependant pas aussi tranché que dans le cas des sons complexes ; cette conclusion est conforme à l'expérience et l'on sait que les notes du registre bouché de l'orgue les plus dissonantes ne présentent pas ce mordant caracté-

[1] *Recueil des travaux de la Société des sciences de Lille*. 1826 et 1827.

ristique des accords dissonants ; les octaves, quintes ou quartes fausses qui sont d'un effet si désagréable sur les instruments dont les sons possèdent de nombreux harmoniques, sont fort admissibles lorsqu'elles sont produites par des tuyaux bouchés ou par des diapasons qui ne donnent aussi que des sons simples. De là vient la difficulté d'accorder ces tuyaux qui est notoire et que l'on évite en frappant la tierce outre la quinte et l'octave, ce qui fait naître d'autres sons résultants et produit un effet à peu près analogue à ce qui a lieu pour les sons riches en harmoniques.

Parmi les conclusions variées que M. Helmholtz déduit de cette idée fondamentale sur la cause des dissonances, il faut encore signaler la différence qui doit exister comme effet entre un accord et son renversement, par exemple la tierce et la sixte, ou entre un accord et son redoublement, la quinte et la douzième ; l'emploi le plus favorable des instruments divers dans un orchestre, emploi que les bons compositeurs ont trouvé par une inspiration de leur génie, est expliqué, et certains effets curieux se trouvent être une conséquence naturelle des principes énoncés précédemment ; ainsi, par exemple, une tierce majeure exécutée par une clarinette et un hautbois est meilleure si la clarinette fait la note basse que dans le cas contraire : c'est que le hautbois présente tous les harmoniques de chaque son et que la clarinette ne possède que les harmoniques pairs. En sorte que si la clarinette exécute les notes *ut* $_2$ et le hautbois le *mi* $_2$, on aura :

$$\begin{array}{ccccccccc} ut_2 & & — & & sol_3 & & — & & mi_4 \\ & mi_2 & & mi_3 & & si_3 & & mi_4 & & sol_4\sharp \end{array}$$

si c'est le hautbois qui fait l'*ut*, on a au contraire :

$$\begin{array}{ccccccccccc} ut_2 & & ut_3 & & sol_3 & & ut_4 & & mi_4 & & sol_4 \\ & mi_2 & & — & & si_3 & & — & & sol_4\sharp & \end{array}$$

Dans ce cas, on voit que les notes *si* $_3$, *ut* $_4$ d'une part, et *sol* $_4\sharp$, *sol* $_4$ d'autre part donnent naissance à des battements qui n'existaient pas dans l'accord précédent.

III

Après avoir étudié les accords de deux notes, M. Helmholtz s'occupe des accords de trois sons et cherche la condition pour

que ces trois sons puissent former une consonnance. Les mêmes principes qui ont été exposés précédemment servent de guide dans ces recherches. Il faut évidemment que ces sons deux à deux soient consonnants, ce qui restreint considérablement le nombre des combinaisons possibles et réduit à six les accords, que notre oreille admet comme consonnances : ces accords ramenés à la gamme d'*ut* sont les suivants :

ut_1	mi_1	sol_1	et	ut_1	$mi_1\flat$	sol_1
mi_1	sol_1	ut_2		$mi_1\flat$	sol_1	ut_2
sol_1	ut_2	mi_2		sol_1	ut_2	$mi_2\flat$

et peuvent être considérés comme dérivant tous, des deux accords placés dans la première ligne et qui sont appelés l'accord parfait majeur et l'accord parfait mineur. Nous retrouvons ici, les mêmes difficultés que j'ai déjà signalées à propos des tierces ; tandis que les musiciens regardent ces accords comme également consonnants, M. Helmholtz juge le second de beaucoup inférieur au premier ; ici encore, il me semble qu'il faut entendre sans parti pris ces accords exécutés isolément par un instrument avant de se décider ; dans ces conditions, j'ai été convaincu *de auditu* de la justesse des assertions du savant allemand. Cela n'est point une raison pour proscrire l'accord mineur qui par son caractère propre et un peu vague est apte à produire des effets spéciaux, à rendre certains sentiments également vagues et un peu indéfinis ; cet accord, du reste, a acquis, de par les grands maîtres modernes, le droit d'existence et personne ne songe à le lui contester. Mais si dans une phrase harmonique cet accord est apte à produire un effet agréable, plus agréable même dans certains cas que ne ferait l'accord parfait majeur, il ne me paraît pas moins certain que, entendu isolément et sans aucun dessin harmonique ou mélodique, l'accord mineur est moins bon comme consonnance que l'accord parfait majeur.

Quelle est la cause que l'on doit admettre pour expliquer cette différence ; on ne peut la trouver si l'on considère les notes seules de ces accords, puisque chacun d'eux se compose d'une tierce majeure et d'une tierce mineure placées seulement dans un ordre différent. (Il me semble avoir vu une critique adressée à M. Helmholtz et qui se basait sur cette considération qui est loin d'être la seule qu'on doive invoquer, ainsi que je vais le dire.)

Chacune de ces notes possède des harmoniques et ces harmoniques peuvent produire, par leur combinaison, des battements, causes de dissonance : mais là n'est point encore la vraie raison, et la dureté que ces battements occasionne est sensiblement la même pour l'accord parfait majeur que pour l'accord mineur. Enfin les sons qui constituent ces accords font entendre par leur combinaison des sons résultants différentiels qui donnent la raison de la diversité de sensations que l'oreille éprouve. Ainsi, pour nous en tenir aux sons résultants du premier ordre, tandis que l'accord parfait majeur

$ut_3 \quad mi_3 \quad sol_3$

donne les sons ut_2 et ut_1 qui ne sont que le son *ut* déjà entendu dans l'accord et répété à d'autres octaves, l'accord mineur

$ut_3 \quad mi_3\flat \quad sol_3$

donne au contraire les sons résultants suivants

$ut_2 \quad mi_1\flat \quad la_0\flat.$

Non-seulement le son *la*♭ forme avec le sol_3 une dissonance dont l'effet est très-faible à cause du peu d'intensité des sons résultants et du grand intervalle qui sépare ces notes, mais ces sons que l'on entend réellement et dont l'existence n'est pas seulement admise comme conséquence du calcul, rappellent forcément à l'oreille et à l'esprit le ton de *la*♭ majeur dans lequel l'accord est en effet *la*♭, *ut*, *mi*♭. N'est-il pas raisonnable d'attribuer à cette double impression le caractère incertain de l'accord mineur?

Il n'est pas possible de suivre M. Helmholtz dans les développements qu'il a donnés à cette théorie et dans lesquels il étudie en particulier l'influence du renversement et du redoublement sur la bonté des accords ; il suffit d'avoir indiqué les principes qu'il a posés d'après l'étude expérimentale des sons et desquels il a déduit l'explication nette de ces faits : la consonnance et la dissonance. M. Helmholtz a repris en les étendant et les complétant les travaux de Rameau, de d'Alembert et de Tartini. Je crois que l'on peut considérer actuellement et après les recherches de M. Helmholtz la musique comme ayant acquis une base véritablement scientifique.

IV

La troisième partie de l'ouvrage auquel se rapporte cet article traite du développement successif de la musique et donne une explication de la gamme, non pas seulement de la gamme usitée de nos jours et dans notre Europe occidentale, mais des systèmes nombreux et divers employés à différentes époques et par des peuples complétement étrangers les uns aux autres.

La musique grecque ancienne, si complexe dans ses développements, est étudiée assez complétement : je ne puis, pour ce sujet, comme pour la plupart des suivants, qu'indiquer les questions traitées par M. Helmholtz : outre qu'il faudrait entrer dans de bien longs détails, il y aurait lieu, je crois, d'introduire aussi une discussion sur l'interprétation des textes que les divers commentateurs n'ont point compris de la même façon. Il y a, comme on le conçoit, une extrême difficulté à reconstruire une gamme ou une mélodie que l'on n'a point entendue et dont on connaît seulement des descriptions assez vagues.

On sait bien que Pythagore a fait connaître la génération de la gamme par une série de quintes, et qu'Aristoxène avait reconnu expérimentalement qu'après une succession de douze quintes on retombe sur une note qui est, à très-peu de chose près, une des octaves de la note de laquelle on est parti. Mais dans un cas comme dans l'autre, si cette génération de la gamme est admissible, à la rigueur, pour des instruments, on ne peut guère concevoir qu'elle soit applicable à la musique vocale : en outre, pourquoi n'avoir pas accepté l'échelle de douze degrés égaux d'Aristoxène, pourquoi s'être arrêté à sept notes inégalement distribuées comme hauteur. M. Helmholtz cherche à résoudre ces questions et en trouve la solution dans l'application de son principe de l'importance des premiers harmoniques communs à deux notes : j'admets sans difficulté aucune les conséquences qu'il déduit de l'affinité du premier degré (deux notes ont une affinité du premier degré lorsqu'elles possèdent un harmonique commun), mais je saisis moins l'importance de l'affinité du second degré, affinité dans laquelle les deux sons ont chacun, avec un troisième, une affinité du premier degré : les conséquences sont

moins certaines aussi, et les notes qui sont déterminées en vertu de cette affinité du deuxième degré admettent deux valeurs entre lesquelles on ne peut absolument pas se décider par ces considérations seulement.

La musique persane, dont la gamme est formée par 17 intervalles qui n'ont point tous la même valeur, mériterait un examen plus complet que celui que je pourrais faire, car elle me semble conduire à des conclusions autres que celles de M. Helmholtz : je n'ai pu me procurer les documents nécessaires à cette étude, et il n'est pas possible d'asseoir un jugement sur les quelques pages qui lui sont consacrées.

L'affinité du deuxième degré me paraît jouer, conformément aux idées de M. Helmholtz, un rôle important dans la formation des accords et, par exemple, l'accord *ut-la*, qui n'est que peu agréable, le devient davantage si l'on intercale la note *fa*, avec laquelle chacune des précédentes a un harmonique commun, mais cela seulement lorsque ces notes sont exécutées simultanément.

Les meilleurs accords sont ceux qui représentent le mieux la note complexe qui leur sert de basse fondamentale, c'est-à-dire ceux qui font entendre des sons qui existeraient parmi les harmoniques de cette note fondamentale : aussi M. Helmholtz assimilant ainsi les accords à des notes complexes, leur reconnaît également des affinités diverses les uns avec les autres. C'est en s'appuyant sur ces considérations, dont l'importance ne me paraît pas extrême, que M. Helmholtz arrive à classer les gammes grecques et du plain-chant, et à montrer que la musique harmonique actuelle ne peut s'arranger de leur totalité et ne peut guère admettre que la gamme majeure et que la gamme mineure.

Les quelques lignes que je viens de consacrer à la troisième partie de l'Acoustique physiologique montrent la nature des questions qui y sont traitées, questions très-importantes au point de vue de la théorie de la musique, plus encore que de la pratique de cet art : malgré les quelques critiques que j'ai indiquées en passant, et quoique je trouve les explications de cette dernière partie un peu cherchées, un peu artificielles, je ne puis me prononcer sur leur valeur ; des recherches expérimentales que je n'ai point encore trouvé l'occasion de faire pourraient seules me fixer à cet égard.

L'Acoustique physiologique met en évidence les connaissances

de divers ordres que possède M. Helmholtz. Si les études sur les timbres émanent d'un physicien habile et d'un expérimentateur industrieux, l'hypothèse du rôle des fibres de Corti témoigne de la valeur de son auteur au point de vue de la physiologie ; les deux dernières parties de l'ouvrage dénotent, à chaque page, le savoir profond de M. Helmholtz en musique théorique et pratique, et les divers suppléments sur le mouvement des cordes pincées, sur le renforcement des sons, sur les sons résultants et sur d'autres points que je ne puis même indiquer, sont l'œuvre d'un mathématicien distingué. Peu de savants auraient été en mesure de mener à bonne fin un pareil travail, qui offrait des difficultés de toute nature, mais dans lequel, par suite, on peut acquérir des notions précises sur un grand nombre de points restés obscurs jusqu'à nos jours.

La traduction d'un pareil ouvrage présentait également une grande somme de difficultés qui ont été vaincues par M. Guéroult : il a su présenter, dans un langage clair et précis, l'exposé des faits et des théories, et, quoique la lecture de l'Acoustique physiologique exige une attention soutenue, elle ne fatigue ni ne rebute l'esprit, et bien des pages sont réellement attrayantes.

Nous ne pouvons que recommander à tous égards le livre de M. Helmholtz à ceux de nos lecteurs qui veulent connaître exactement l'état de l'acoustique musicale. Peut-être les idées qu'il renferme ne seront-elles pas entièrement adoptées, mais elles appellent forcément l'attention et la discussion, ce qui est un mérite incontestable.

C. M. Gariel.

II

UNE NOUVELLE APPLICATION DE L'ÉLECTRICITÉ

Les Orgues de l'Église Saint-Augustin, par MM. Barker et Peschard.

L'artiste qui exécute un chant sur un violon possède des moyens divers de donner aux sons qu'il produit les expressions

les plus variées ; la conduite de l'archet, la manière d'appuyer le doigt sur la corde que l'on fait vibrer, le choix de telle ou telle corde que l'on ébranle pour produire un son déterminé, telles sont les principales causes des modifications du caractère ou même du timbre des notes produites par les instruments à cordes. Des procédés analogues peuvent être employés pour la plupart des instruments à vent ; cependant, quelque parfait que soit le jeu, une clarinette, par exemple, *chante* moins qu'un violon : les instruments à clavier, le piano, sont encore moins riches en effets, et sauf le *forte* et le *piano* dans l'attaque, l'exécutant ne peut produire aucune variation dans la douceur ou le mordant de la note ; le son, une fois donné, diminue rapidement d'intensité sans qu'il y ait moyen de s'opposer à ce changement qui rend impossible l'exécution de chants larges sur le piano.

L'orgue est, comme le piano, un instrument à clavier ; mais le son est produit par un courant d'air qui fait vibrer un tuyau sonore et non par une corde ébranlée par un marteau. Le tuyau résonne tant que passe le courant d'air, et celui-ci est maintenu constant par une série de soufflets mis en mouvement à bras d'hommes et disposés convenablement pour assurer une régularité presque absolue. Le son d'une note de l'orgue se prolonge donc aussi longtemps qu'on le veut, aussi longtemps qu'il est nécessaire pour rendre complète l'intention harmonique ou mélodique du compositeur. Cette propriété de l'instrument qui donne à la musique d'orgue une grande ampleur, la rend spécialement convenable pour les morceaux religieux. Toutefois le mode d'attaque est tel qu'on ne peut qu'à peine changer le son du tuyau ; suivant que le courant d'air sera fort ou faible, et l'on conçoit qu'on puisse le modifier dans ce sens par une ouverture convenable de soupapes faisant communiquer les souffleries avec chacun des tuyaux, le son aura une intensité plus ou moins grande, mais ces variations doivent être restreintes dans d'étroites limites, car, si le courant d'air est trop fort, le son monte et devient faux : il descend au contraire si le courant d'air s'affaiblit notablement.

L'orgue serait un instrument fort monotone et peu agréable à entendre, si une seule série de tuyaux correspondait à l'étendue des sons que comprennent les claviers des grandes orgues (claviers à main et claviers de pédales). En réalité, il existe dans un

orgue des *jeux* en nombre variable: chaque jeu contient assez de tuyaux pour donner toutes les notes de l'orgue ou seulement toutes les notes d'une certaine partie. Ces jeux diffèrent par le timbre des sons qu'ils produisent : dans l'un, les tuyaux sonores sont ouverts, par l'extrémité opposée à celle par laquelle ils reçoivent le courant d'air, comme cela a eu lieu pour le registre dit *principal ;* dans l'autre, le tuyau est bouché, comme pour le *quintaton ;* dans certains jeux de *flûte*, le tuyau bouché se termine par un tuyau ouvert de moindre diamètre (tuyaux à cheminée) : le courant d'air peut produire un son en venant se briser contre un biseau aigu ; il peut mettre en mouvement une *anche* élastique qui par ses battements fait vibrer l'air du tuyau auquel elle est adaptée : dans certaines orgues, on réserve encore deux jeux dont les notes destinées à parler simultanément sont accordées avec une petite différence de hauteur de manière à donner lieu à la production de battements qui produisent un effet tout particulier et nullement désagréable, surtout pour les sons peu élevés. Enfin, dans d'autres jeux, dits de *fourniture*, en même temps que le tuyau qui donne la note que l'on veut faire entendre, d'autres tuyaux, qui correspondent aux premiers harmoniques de ce son (son octave, sa quinte, ou sa douzième), doivent aussi parler.

Les effets de ces divers modes de production du son présentent de grandes différences ; l'étude de ces différences a été entreprise par M. Helmholtz, qui a prouvé qu'elles prennent naissance dans les résonnances simultanées d'harmoniques en nombre variable et d'intensité différente. Les facteurs ont cherché à obtenir les combinaisons les plus propices et sont arrivés à produire des effets très-variés : mais à chaque touche ou résonnance nouvelle pour une certaine note correspond au moins un tuyau. — Pour donner une idée de la complication qu'entraîne l'obtention de ces effets, il nous suffira de dire que l'orgue de Notre-Dame renferme quatre-vingt-six jeux et six mille tuyaux mis en œuvre par six claviers, dont un pour les pieds ; et que l'orgue de Saint-Sulpice, plus considérable encore, possède cent jeux et près de sept mille tuyaux que font également parler les touches de six claviers.

On conçoit que, dans des orgues de ces dimensions, il n'est pas possible d'avoir autant de touches différentes que de tuyaux sonores ; il faut que la même touche donne tous les sons, de quel-

que timbre qu'ils soient, correspondant à la même note déterminée de hauteur. C'est là un problème de mécanique simple pour un ou deux jeux, mais très-compliqué lorsqu'il s'agit de mettre successivement en communication le levier constitué par la touche avec les trente ou quarante tuyaux que cette touche doit faire parler. Cependant, les anciennes orgues étaient construites d'après ce système ; la soupape qui donne accès à l'air dans le tuyau est mue par un levier auquel le mouvement de la touche est communiqué par le moyen de tiges rigides, de barres en bois léger. Lorsqu'on veut faire parler la même note dans un autre jeu, il faut que le mouvement de la touche transmis par l'intermédiaire des mêmes barres rigides jusque dans le buffet soit transmis à une soupape différente ; ce changement de transmission s'effectue par le moyen de pièces mobiles, mues par les boutons des registres placés près des claviers, boutons qui, par l'intermédiaire de leviers, déplacent simultanément toutes les pièces mobiles qui assurent la transmission du mouvement de la touche aux diverses soupapes. La question se complique encore pour les jeux de fourniture dans lesquels le mouvement de la touche est communiqué simultanément à trois et quatre tuyaux. Outre la complexité du mécanisme, une considération d'un autre ordre rend cette construction assez mauvaise en soi. On conçoit que les touches ne puissent être mises en mouvement que sous une impulsion suffisante pour vaincre les frottements qui ne peuvent manquer d'exister dans un pareil mode de transmission et pour ouvrir la soupape d'admission de l'air dans le tuyau malgré la pression de cet air dans la soufflerie.

Depuis assez longtemps déjà la construction des orgues a été simplifiée à cet égard et le jeu rendu plus facile par l'emploi du *levier pneumatique* proposé par M. Barker. Le mouvement de la touche ne commande pas directement les soupapes des tuyaux ; celles-ci sont mises en jeu par l'action de l'air de la soufflerie dont la pression est précisément l'obstacle qui s'oppose à leur mouvement ; voici comment on est arrivé à ce résultat :

La soupape de chaque tuyau est portée à une extrémité d'un levier qui peut tourner autour d'un point fixe, et dont l'autre extrémité est fixée, en dehors de la soufflerie, à une plaque de bois : cette plaque est réunie à la paroi de la soufflerie par une membrane flexible, de manière à constituer une sorte de caisse à

air dont le volume peut varier ; cette cavité est ouverte dans la soufflerie par un orifice de petites dimensions que ferme une soupape ; c'est cette dernière soupape qui est mise en jeu par le mouvement de la touche communiqué par des leviers convenablement disposés. Cette soupape, à cause de sa faible surface, n'exige que peu d'efforts pour être soulevée, et c'est le seul déploiement de forces que l'organiste ait à manifester. En effet, la soupape ouverte, l'air de la soufflerie entre dans la caisse que nous avons précédemment décrite et la distend en vertu de son excès de pression sur l'air extérieur. Le levier fixé à la paroi supérieure est ainsi soulevé, et son extrémité opposée s'abaisse entraînant avec elle la soupape du tuyau que l'on veut faire parler malgré la pression qui s'y oppose, si les surfaces de la caisse à air et de la soupape, ainsi que le rapport des bras du levier, ont été convenablement calculés. Ce n'est plus le mouvement de la touche qui détermine l'ouverture du tuyau sonore; ce mouvement permet seulement l'application d'une force fournie d'autre part et que l'on possède en excès ; c'est cette pression, dont les effets sont réglés, sont dirigés vers le point convenable, qui exécute ce que l'on pourrait appeler les manœuvres de *force*.

On conçoit, sans que nous entrions dans de plus grands détails à cet égard, l'avantage de ce mode de transmission de mouvement qui permet d'obtenir une plus grande délicatesse de jeu et évite la fatigue ; aussi a-t-on appliqué le même procédé à la manœuvre des registres qui mettent en communication la soufflerie avec les divers jeux. Ce système a été appliqué en France pour la première fois lors de l'inauguration des grandes orgues de Saint-Denis.

MM. Barker et Peschard ont encore simplifié et facilité les transmissions de mouvement par l'emploi de l'électricité. Chacune des soupapes des petites caisses à air décrites précédemment, au lieu d'être mue directement par un levier correspond à un électro-aimant qui, lorsqu'il agit, ouvre cette soupape ; l'électro-aimant, cessant d'attirer la soupape, celle-ci est ramenée à sa position de fermeture par un ressort ou un contre-poids. Pour faire parler un tuyau, il suffit donc d'envoyer le courant électrique d'une pile dans l'électro-aimant qui agit sur la soupape correspondante ; il suffit d'interrompre la communication pour que le son cesse de se produire. Le mouvement des touches peut facilement donner naissance à de pareils

contacts et interruptions, et cela sans grands efforts, puisque le doigt qui agit sur la touche n'a plus absolument à vaincre que les frottements qui doivent être faibles dans ces conditions ; les avantages que nous avons signalés dans le levier pneumatique sont encore augmentés dans ce système.

Cette application nouvelle de l'électricité n'est pas seulement à l'état de projet ; elle a été mise en œuvre pour la construction de l'orgue de l'église Saint-Augustin à Paris. Cet orgue, qui est de grandes dimensions, comporte quarante-deux jeux et possède quatre claviers dont un à pédales. Depuis quelques mois seulement, la construction est terminée : aussi manque-t-il à ce nouvel emploi des courants électriques la sanction du temps : cependant, jusqu'à présent, les résultats sont satisfaisants, et l'on ne peut point prévoir d'où viendraient les obstacles qui s'opposeraient à la généralisation de ce procédé.

C. M. Gariel.

CHIMIE APPLIQUÉE

L'ÉRYTHRITE ET L'ORCINE.

Travaux de M. de Luynes.

Les nombreuses découvertes dont s'enrichit chaque jour la chimie organique, le grand nombre de corps qui se rattachent à l'étude de cette science, ont nécessité de la part des savants un travail de classification qui permît de ranger les principales substances organiques connues en un certain nombre de groupes ou séries caractérisés par des propriétés et des réactions identiques.

Les principes sur lesquels repose cette classification ont été exposés à deux reprises différentes, aux lecteurs de l'*Annuaire*[1], par M. Dehérain ; nous n'avons donc pas y revenir. Mais depuis, la découverte et l'étude plus sérieuse de nouveaux composés sont venues, ou confirmer, par l'ensemble de leurs propriétés, les hypothèses principales sur lesquelles on s'était appuyé, ou nécessiter de la part des chimistes, la formation de nouveaux groupes dont ces composés devenaient ainsi le type principal.

C'est à ce point de vue que nous croyons devoir parler ici de deux corps dont l'histoire était restée jusqu'ici incomplète et que les travaux de M. de Luynes ont parfaitement fait connaître: l'érythrite et l'orcine jouent, en effet, un rôle important en chimie organique ; le premier de ces corps pouvant être considéré comme un alcool tétratomique, vient se ranger naturellement dans la série des alcools polyatomiques ; le second, dont les propriétés tiennent à la fois de l'acide et de l'alcool, vient se ranger dans un groupe particulier de corps, que M. Berthelot a compris d'une ma-

[1] Voy. *Annuaire sientifique,* année 1863, p. 91 ; et année 1866, p. 52.

nière générale sous le nom de phénols : le phénol ordinaire, contenu dans l'huile de goudron de houille, appelé quelquefois acide phénique ou alcool phénique, étant le composé principal de cette série.

I

L'orseille et le tournesol. — Recherches de Cocq, Robiquet, Heeren et Kane, sur la composition de ces deux matières colorantes. — L'érythrine et l'orcine.

On rencontre dans presque toutes les parties du globe, et on voit même se développer au delà des limites de la végétation ordinaire, sur les pierres, les rochers, les tuiles des toits, les écorces, la terre, sous forme d'expansions généralement minces et sèches, le plus souvent grises, jaunâtres ou orangées, un grand nombre de végétaux, classés déjà depuis longtemps dans une même famille, portant le nom général de *lichens*.

Par l'organisation et le mode de reproduction des végétaux qui le composent, ce groupe est intermédiaire aux algues et aux champignons, à ce point que quelques botanistes l'ont rattaché aux premiers, tandis que certains autres ont cru pouvoir le comprendre dans les derniers. Néanmoins, la plupart des auteurs le conservent distinct et séparé de l'une et de l'autre de ces grandes familles.

Les lichens sont de petites plantes aériennes, généralement étalées en expansions qui se fixent aux corps par leur face inférieure, plus rarement s'élevant en productions semblables d'aspect à de petites tiges rameuses. Le nombre des espèces qu'on en connaît aujourd'hui est évalué à 1,200 environ; mais, les limites de ces espèces ne sont pas fixées toujours avec une telle précision que cette évaluation doive être regardée autrement que comme approximative.

Quelques espèces ont une utilité reconnue. Ainsi, tout le monde connaît le lichen d'Islande, *cetraria Islandica*, dont on fait journellement usage en médecine. Les *roccelles*, diverses *parmelia*, *lecanora*, *variolaria*, etc., ont une assez grande importance comme fournissant, selon le procédé de fabrication, soit la matière tinctoriale d'un beau rouge, nommée orseille, soit la teinture d'un bleu très-peu solide, connu sous le nom de tournesol en pains, dont on fait constamment usage dans les laboratoires de

chimie et qu'on emploie dans nos départements méridionaux pour azurer le linge.

La composition de ces deux matières colorantes resta longtemps inconnue; ce n'est qu'en 1812, que Cocq, commissaire des poudres et salpêtres, donna, pour la première fois, les procédés généralement employés dans leur fabrication, procédés qui, jusque-là, étaient restés entre les mains d'industriels ignorants, qui faisaient un mystère de leur fabrication [1].

Pour préparer l'orseille, les lichens employés sont mis en pâte, puis on les laisse pourrir avec de l'urine et au contact de l'air. Après quelque temps, on y mélange de la chaux qui met à nu l'ammoniaque produite, et on y ajoute de temps en temps, si cela est nécessaire, de nouvelle urine. C'est la pâte formée par ce mélange qui constitue la matière colorante rouge employée dans la teinture; elle est d'une consistance solide, d'une couleur rouge violette très-foncée, d'une odeur forte et désagréable; elle offre à la vue beaucoup de débris presque entiers de la plante, et elle est parsemée d'un grand nombre de points blancs, paraissant être un sel ammoniacal. Elle communique à l'eau une couleur rouge foncée, et fournit au tissu des teintes très-vives, mais peu durables.

En France, les principaux lichens employés à cette fabrication sont le lichen blanc des Pyrénées (*variolaria dealbata*) et la pareille d'Auvergne (*variolaria orcina*); cependant, le lichen des Canaries, les herbes du cap Vert, de Madère, de Mogador et de Sardaigne fournissent des variétés d'orseille encore plus recherchées.

La fabrication du tournesol diffère peu de celle de l'orseille, les plantes employées étant à peu près les mêmes. La variolaria orcina ramassée, on la fait sécher, on la pulvérise, puis on la mêle dans une auge avec la moitié de son poids de cendres gravelées, également pulvérisées; on arrose alors le mélange d'urine humaine, de manière à en former une pâte; on ajoute de temps en temps de l'urine, puis peu à peu du carbonate de chaux; c'est sous l'influence de ce dernier corps que la matière colorante bleue prend naissance.

Tels sont les deux procédés employés dans la fabrication de l'orseille et du tournesol; il est facile de voir que, dans le premier

[1] *Annales de Chimie*, t. LXXXI, année 1812.

cas, la matière colorante rouge prend naissance sous l'influence combinée de l'air, de l'eau et de l'ammoniaque ; dans le second, la présence d'un carbonate alcalin est nécessaire à la production de la teinture bleue.

L'origine de ces belles matières colorantes, provenant de différentes espèces de lichens incolores, ne devait pas tarder à appeler l'attention des chimistes ; Heeren et Robiquet d'abord, Robert Kane ensuite, s'occupèrent de cette question et parvinrent en partie à la résoudre. Heeren analysa particulièrement les lichens *palmeria roccella* et *lecanora Tartarea*. Il y trouva, comme base des matières rouges, un corps qu'il appela érythrine. En soumettant l'érythrine séparément à l'action de l'alcool bouillant, de l'ammoniaque et de l'air, il put transformer cette substance en un certain nombre de matières colorantes rouge, jaune et rouge vineux, qu'il décrivit avec soin, mais dont malheureusement il ne détermina pas la composition. Il est fâcheux que ces belles découvertes soient restées imparfaites ; mais quoiqu'on ne doutât pas à cette époque du soin et de l'exactitude d'Heeren, on n'en restait pas moins dans l'ignorance totale des changements organiques qui produisent ces phénomènes de coloration, et des lois qui régissent la composition et les réactions des substances qu'il a pu isoler.

Les recherches de Robiquet[1] ont conduit à des résultats plus utiles à l'histoire de l'orseille que ceux obtenus par Heeren. En soumettant la variolaria dealbata à l'analyse, Robiquet y découvrit une substance blanche, cristalline, insoluble dans l'alcool, se décomposant facilement sous l'influence de la chaleur, et ne pouvant dans aucun cas donner naissance à une matière colorante (c'est cette substance qu'il appela variolarine) et une matière sucrée, ayant la forme de longs prismes jaunâtres. Cette dernière matière, soumise à l'influence du gaz ammoniac et de l'oxygène, ne tarda pas à donner naissance à un nouveau composé d'une belle couleur violette, qui n'était autre que celle de l'orseille. La première de ces substances reçut le nom d'orcine, et le composé transformé, celui d'orcéine. Ainsi, d'après Robiquet, le procédé de fabrication employé n'avait pour but que la transfor-

[1] *Annales de physique et de chimie*, 2e série, t. XLII, p. 236. — Année 1829.

mation de l'érythrine ou de l'orcine, en une matière azotée colorante.

Robert Kane[1], qui reprit cette question en 1841, confirma par ses travaux les idées de Robiquet. De plus, étudiant d'une manière plus intime les phénomènes qui avaient lieu pendant la transformation, de l'érythrine en orcéine, il crut reconnaître que ce que l'on avait désigné jusque-là sous le nom d'orcéine n'était autre chose que le mélange en proportions variables de deux principes, qu'il distingua sous le nom d'alpha-orcéine et de bêta-orcéine, principes ne différant entre eux que par la proportion d'oxygène qu'ils renferment[2]. Suivant lui, l'orcine ou l'érythrine, pour se transformer en orcéine, passe par une série de composés parfaitement définis qu'il a étudiés et décrits sous le nom de amarythrine, télérythrine, azoérythrine, etc.; le premier terme de cette série étant suivant la variété de lichen : l'orcine, l'érythrine ou la lécanorine, et les termes ultimes : l'alpha-orcéine et la bêta-orcéine.

Quoi qu'il en soit, nous n'aurons ici à nous occuper que des deux corps principaux de cette série : l'orcine de Robiquet et l'érythrine ou acide érythrique de Heeren.

II

Découverte de l'érythrite. — Sa préparation ; ses principales propriétés. — Hypothèses de M. Berthelot sur sa constitution. — Travaux de M. de Luynes.

L'érythrite, désignée successivement sous les noms de pseudo-orcine, érythroglucine, érythromannite, phycite, a été découverte en 1849 par M. le docteur Stenhouse, qui a donné en même temps quelques-unes de ses propriétés.

En 1852, M. Lamy, dans une analyse de *protococcus vulgaris*, décrivit cette substance sous le nom de phycite ; quelques années plus tard, en 1857, il reconnaissait que cette substance était en tout point analogue à l'érythrite[3]. Plusieurs procédés ont été

[1] *Annales de physique et de chimie*, 2e série, t II, p. 5. — Année 1841.

[2] Kane, formulant l'alpha-orcéine $C^{18}H^{10}AzO^{5}$, donnait à la bêta-orcéine la composition $C^{18}H^{10}AzO^{8}$; cette dernière formule étant identique avec celle trouvée par M. Dumas et par M. Liebig pour l'orcéine de Robiquet.

[3] *Annales de physique et de chimie*, 3e série, t. LI, p 232. — Année 1857.

proposés pour la préparation de cette substance, nous ne donnerons ici que le mode d'extraction décrit et employé par M. de Luynes[1] : « L'érythrite est retirée du lichen *roccella Montagnei ;* pour l'obtenir, on extrait d'abord des lichens l'érythrine ou acide érythrique, seul principe utile au point de vue de la production de l'érythrite. Les lichens, placés dans de grandes terrines, sont mis à macérer dans l'eau ordinaire, pendant une heure, de manière à les imprégner complétement de liquide; on les saupoudre ensuite avec une petite quantité de chaux éteinte et l'on brasse fortement le mélange. La liqueur obtenue en pressant les lichens est ensuite rapidement filtrée, puis traitée par un léger excès d'acide chlorhydrique qui précipite tout l'acide érythrique à l'état de gelée épaisse.

L'acide érythrique est alors décomposé en vase clos par la chaux, où il se dédouble, sous l'influence de la température, en érythrite et en orcine. On traite par l'éther le mélange ainsi obtenu ; l'éther dissout l'orcine et laisse l'érythrite sous forme de résidu insoluble. Ce résidu est dissous dans la plus petite quantité d'eau possible, et la solution est additionnée d'un tiers environ de son volume d'alcool à 36 degrés. Par le refroidissement, l'érythrite cristallise.

L'érythrite fond à 120°, sans perdre d'eau, et résiste à une température de 250° ; vers 300°, une partie se décompose et l'autre se volatilise. Elle présente au plus haut degré le phénomène de la surfusion. Elle cristallise en beaux prismes à base carrée, assez durs, faiblement sucrés, très-solubles dans l'eau, notamment solubles dans l'alcool bouillant. Elle ne possède point de pouvoir rotatoire. Sa densité est égale à 1,59. — L'érythrite est susceptible de se combiner avec divers acides ; elle dissout aussi certaines bases, notamment la chaux.

Plusieurs formules ont été proposées pour représenter sa composition ; M. Berthelot, dans son traité de chimie organique[2], a adopté la suivante ; $C^{12}H^{15}O^{12}$ qui paraît s'accorder avec les analogies et avec l'analyse des combinaisons de l'érythrite. L'ensemble de ses principales propriétés, la facilité avec laquelle elle est susceptible de se combiner avec les acides, l'ont fait ranger, dès

[1] *Ibid.*, p. 385 ; 4e série, t. II. — Année 1864.
[2] *Chimie organique fondée sur la synthèse,* t. II, p. 222.

1855, par M. Berthelot, dans le groupe des alcools hexatomiques. Cependant, à cette hypothèse, le savant professeur du Collége de France crut devoir ajouter la restriction suivante : « Bien qu'on ait cru devoir adopter ici cette formule, on croit utile de dire que la formule $C^8H^{10}O^8$ qui représente les deux tiers de la première et répondrait à un alcool tétratomique, offre quelques probabilités. » Nous verrons plus loin combien cette restriction était fondée; les travaux de M. de Luynes ayant prouvé depuis que telle était bien la véritable fonction chimique de ce principe. Mais, pour bien faire comprendre ce qui va suivre, le lecteur voudra bien nous permettre de revenir en quelques mots sur ce qu'on entend par alcool polyatomique, et sur les propriétés qui caractérisent la série de composés que l'on comprend sous cette dénomination générale.

Il serait superflu de répéter ici, qu'en chimie, le nom d'alcool n'est pas réservé à une seule substance, mais qu'il sert à désigner un certain nombre de corps jouissant d'un même ensemble de propriétés ; on désigne, en effet, sous ce nom, tout composé neutre, formé de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, apte à produire des éthers, c'est-à-dire apte à se combiner directement à un acide quelconque avec élimination d'eau et formation de composés neutres particuliers. — De même que les acides minéraux peuvent se combiner à un, deux ou trois équivalents de base, de même, il existe quelques alcools susceptibles de se combiner à un ou à plusieurs équivalents d'acides différents, avec élimination d'eau correspondante, pour donner naissance à des composés éthérés analogues aux éthers ordinaires, mais combinés dans des proportions beaucoup plus variées. De là, deux grandes divisions : les alcools monoatomiques et les alcools polyatomiques ; enfin, parmi ces derniers, il en est qui ne peuvent se combiner au maximum qu'avec deux, trois, etc., ou six équivalents d'acide et qui sont dits alors des alcools biatomiques, triatomiques, etc., ou hexatomiques. Mais, si le nombre des alcools monoatomiques connus est assez considérable, celui des alcools polyatomiques parfaitement déterminés est beaucoup plus restreint ; c'est ainsi qu'il n'existe d'une manière bien certaine que quatre alcools diatomiques : le glycol, le propylglycol, le butylglycol et l'amylglycol, tous quatre découverts par M. Wurtz; un alcool triatomique, la glycérine, dont la fonction triatomique a été dé-

terminée par M. Berthelot, qui a ainsi fait connaître le premier alcool polyatomique; enfin un alcool hexatomique, la mannite.

Outre la propriété caractéristique que possèdent ces alcools, de se combiner en diverses proportions avec les acides, il existe une relation directe entre leur degré d'atomicité et la proportion d'oxygène qu'ils renferment; c'est ainsi que tous les alcools monoatomiques renferment deux équivalents d'oxygène; les alcools biatomiques, quatre équivalents; les alcools triatomiques, six équivalents; la même loi se confirmant pour les autres variétés d'alcool[1]. Il est évident dès lors qu'on pourra toujours déterminer le degré d'atomicité d'un alcool, à la seule inspection de sa formule. Mais, cette formule exacte, susceptible de rendre compte de toutes les transformations et de toutes les réactions que l'on fait subir au corps, est quelquefois difficile à déterminer. MM. Berthelot et de Luca, en étudiant la glycérine à ce point de vue, ont déterminé d'une manière exacte sa formule, en usant d'un artifice qui consiste à faire agir un hydracide et en particulier l'acide iodhydrique sur la glycérine; le composé obtenu, susceptible de se transformer en propylène, puis en alcool propylique monoatomique, reliait ainsi d'une manière évidente la composition des deux alcools; la glycérine pouvant dès lors être considérée comme l'alcool triatomique correspondant à l'alcool propylique.

Tel est, en résumé, le procédé employé par MM. Berthelot et de Luca; il a été appliqué avec succès, par M. de Luynes, à l'analyse de l'érythrite, à laquelle nous allons maintenant revenir.

Il était certain, d'après ce que nous venons de rapporter, que l'action directe de l'acide iodhydrique sur l'érythrite devait éclaircir d'une manière définitive sa composition; en effet, l'érythrite, traitée par ce corps, ne tarda pas à donner naissance à un com-

[1] On peut remarquer de plus la relation singulière qui existe entre les formules et les fonctions des corps suivants :

Alcool propylique, monoatomique.	$C^6H^8O^2$
Propylglycol, biatomique.	$C^6H^8O^4$
Glycérine, triatomique.	$C^6H^8O^6$

Cette relation semblant indiquer qu'à chaque alcool monoatique $C^{2n}H^{2n+2}O^2$ répond

un alcool biatomique.	$C^{2n}H^{2n+2}O^4$
et un alcool triatomique.	$C^{2n}H^{2n+2}O^6$

posé iodé que M. de Luynes a appelé iodhydrate de butylène, et qui répondait à la formule C^8H^8HIo ; pour s'assurer que ce produit correspondait bien à une combinaison du butylène ordinaire, M. de Luynes le prépara par synthèse, en faisant réagir le butylène bien pur sur une solution d'acide iodhydrique saturée de gaz à 0°. Les deux composés ainsi obtenus, l'un par la réaction de l'acide iodhydrique sur le butylène, l'autre par l'action de ce même corps sur l'érythrite, présentèrent le même ensemble de propriétés[1]. Il y avait donc entre l'érythrite et le butylène une relation identique à celle trouvée plus haut entre la glycérine et le propylène ; il s'ensuivait que l'érythrite devait bien être considérée comme un alcool tétratomique, répondant à la formule $C^8H^{10}O^8$; l'hypothèse, émise par M. Berthelot, recevait ainsi des travaux de M. de Luynes une première confirmation.

M. de Luynes ne crut pas devoir s'en rapporter à cette seule expérience ; se servant de la même méthode, il fit réagir l'acide bromhydrique sur l'érythrite ; il obtint ainsi le bibromure de butylène $C^8H^{10}Br^2$; d'un autre côté, décomposant l'iodhydrate de butylène par l'acétate d'argent, il put préparer directement le butylène à l'état gazeux. Parmi les produits de cette réaction, M. de Luynes en isola un avec soin, qu'il décrivit sous le nom d'acétate de butylène : produit extrêmement curieux, puisque traité par la potasse, il donna naissance à l'hydrate de butylène, l'isomère de l'alcool butylique.

La fonction polyatomique de ce corps nous semble donc bien démontrée par cette suite de travaux intéressants ; mais, cependant, pour que la démonstration fût complète, il faudrait que l'on pût non-seulement combiner l'érythrite avec un, deux ou trois équivalents d'acide, mais encore avec quatre équivalents ; cette réaction étant, d'après ce que nous avons dit précédemment, le caractère fondamental d'un alcool tétratomique. Malheureusement, les travaux faits dans ce sens montrent entre eux peu d'accord ; à la vérité, on connaît bien deux combinaisons, l'une formée par

[1] La réaction de l'acide iodhydrique sur l'érythrite peut se représenter de la manière suivante :

$$\underbrace{C^8H^{10}O^8}_{\text{Érythrite.}} + 7HIo = \underbrace{C^8H^8.HIo}_{\text{Iodhydrate de butylène.}} + 8HO + 6Io$$

l'union de quatre équivalents d'acide azotique avec l'érythrite, l'autre par celle de quatre équivalents d'acide tartrique avec le même alcool; mais il faut citer en outre l'érythrite hexabenzoïque et l'érythrite hexanitrique qui contiennent toutes les deux six équivalents d'acide et qui semblent ainsi rejeter l'érythrite du groupe des alcools tétratomiques pour le ranger dans celui des alcools hexatomiques. Une nouvelle étude de ces composés serait donc nécessaire, elle aurait vraisemblablement pour effet de résoudre la question d'une manière définitive.

Il nous reste maintenant à examiner sous quelle forme l'érythrite préexiste dans les lichens. Les premières idées théoriques, sur ce sujet, sont dues à M. Berthelot : envisageant l'érythrite comme un alcool, il fit remarquer que ses combinaisons avec l'acide stéarique, avec l'acide benzoïque, etc., devaient être considérées comme des éthers composés, analogues aux éthers formés par la combinaison des mêmes acides avec la glycérine, combinaisons qui, comme on le sait, ne sont autre chose que les corps gras ; il prépara ainsi l'érythrite dibenzoïque, distéarique, etc.; s'appuyant sur les mêmes principes, il fut conduit à regarder l'érythrine comme l'éther diorsellique de l'érythrite, c'est-à-dire comme le corps résultant de la combinaison d'un équivalent d'érythrite avec deux équivalents d'acide orsellique, deux équivalents d'eau étant éliminés. Cette théorie fut aussi admise par M. de Luynes qui formula cette réaction de la manière suivante :

$$\underbrace{C^{40}H^{22}O^{20}}_{\text{Érythrine.}} = \underbrace{C^{8}H^{10}O^{8}}_{\text{Érythrite.}} + \underbrace{2C^{16}H^{8}O^{8}}_{\text{Acide orsellique.}} - 4HO\ ^{1}.$$

En traitant l'érythrine par la chaux, il devait se faire une réaction analogue à celle qui a lieu dans la saponification des corps gras, c'est-à-dire que l'érythrine devait se décomposer en acide orsellique et régénérer l'érythrite. Mais, sous l'influence de la chaux,

[1] Une réaction identique existe pour la formation de la pricro-érythrine, de M. Stenhouse, que l'on peut considérer comme de l'érythrite monorsellique :

$$\underbrace{C^{24}H^{16}O^{4}}_{\text{Picro-érythrine.}} = \underbrace{C^{8}H^{10}O^{8}}_{\text{Érythrite.}} + \underbrace{C^{16}H^{8}O^{8}}_{\text{Acide orsellique.}} - 2HO$$

l'acide orsellique se décompose lui-mêmeen orcine et en acide carbonique[1]; il était dès lors certain que dans le traitement par la chaux, l'érythrine devait se décomposer en orcine d'une part, et en érythrite de l'autre ; nous avons en effet montré que c'est toujours cette réaction qui a lieu.

En résumé, « ces faits semblent donc bien prouver que la constitution de l'érythrine est analogue à celle des éthers composés, et que l'érythrite y préexiste par ses éléments au même titre que l'alcool méthylique dans l'essence de *gaultheria* et que la glycérine dans les corps gras. »

Cette conclusion, par laquelle M. de Luynes termine son mémoire sur l'érythrite, est aussi la nôtre, sauf les quelques restrictions que nous avons cru devoir faire ; il ressort, en effet, de l'ensemble de ces travaux, travaux extrêmement intéressants et qui ont valu, en 1866, à leur auteur, une partie du prix Jecker, décerné par l'Académie au meilleur travail de chimie organique, il ressort, disons-nous, que l'érythrite joue dans les lichens un rôle extrêmement important, puisqu'elle sert à retenir ou pour mieux dire à fixer l'acide orsellique, c'est-à-dire le principe essentiel de la matière colorante de l'orseille ; c'est du dérivé le plus important de cet acide, l'orcine, dont nous allons maintenant nous occuper.

III

Hypothèse de Laurent et Gerhardt sur la constitution de l'orcine. — Les phénols — M. Berthelot. — Recherches de M. de Luynes.

Comme nous l'avons dit au commencement de cet article, l'orcine a été découverte, en 1829, par Robiquet qui, le premier, a isolé ce principe et en a décrit les propriétés les plus importantes ; elle a été ensuite l'objet de travaux remarquables dus à MM. Dumas, Schunck, Stenhouse, Liebig, Will, Hess, etc. ; mais les premières idées théoriques qui furent énoncées sur la constitution de ce corps sont dues à Laurent et Gerhardt ; elles datent de 1848. Laurent et Gerhardt, s'appuyant sur la composition chimique de l'or-

[1]
$$\underbrace{C^{16}H^{8}O^{8}}_{\text{Acide orsellique.}} = 2CO^{2} + \underbrace{C^{14}H^{8}O^{4}}_{\text{Orcine.}}$$

cine qu'ils avaient de nouveau déterminée, et sur le dérivé bromé, la bromorcine, qu'ils en avaient obtenue par voie de substitution, faisaient de l'orcine un isomère de la saligénine de M. Piria et, par suite, la plaçaient dans la série salicylique ; malheureusement, jusqu'ici aucune réaction n'a pu transformer l'orcine en un dérivé de cette série. Il fallait donc renoncer à cette première hypothèse, quelque ingénieuse qu'elle parût tout d'abord ; de plus, l'orcine ne pouvait être rangée, ni dans le groupe des alcools, ni dans celui des acides, ni dans celui des glucosides dans lequel elle était placée par la plupart des chimistes ; l'ensemble de ses propriétés ne rappelant que très-faiblement les caractères si remarquables de chacune de ces grandes familles de composés organiques. La nature de l'orcine était donc tout à fait indéterminée.

Tel était l'état de la question lorsque M. Berthelot, en étudiant l'acide phénique ou alcool phénique, découvrit dans ce corps un ensemble de propriétés assez caractéristiques pour qu'il crût devoir en faire le type d'une nouvelle classe de composés qu'il désigna d'une manière générale sous le nom de phénols[1]. Bientôt, un certain nombre d'autres corps dont la fonction chimique était jusque-là restée inconnue, vinrent se rattacher naturellement à ce groupe ; c'est ainsi que le phénol crésylique qui se trouve dans la créosote, le phénol thymolique ou thymol que l'on rencontre dans l'essence de thym, sont maintenant considérés comme des homologues incontestables du phénol proprement dit.

A cette série de corps doués des mêmes propriétés que l'acide phénique, M. Berthelot ne tarda pas à rattacher un certain nombre d'autres principes possédant des réactions sinon aussi bien définies que les deux composés dont nous venons de parler, du moins, présentant avec celles des phénols d'assez grandes analogies. A ce titre, l'orcine devait être considérée, d'après M. Berthelot, comme faisant partie du groupe de composés dont nous nous occupons ; les travaux de M. de Luynes ont depuis montré la parfaite exactitude de cette manière de voir ; mais, avant d'examiner les considérations qui ont permis d'attribuer à l'orcine cette nouvelle fonction chimique, il est nécessaire de définir d'une manière exacte ce que nous entendons par phénol, de la même manière que nous avons cru devoir rappeler succinctement, en

[1] Berthelot, *Chimie organique fondée sur la synthèse*, t. I.

parlant de l'érythrite, les propriétés fondamentales qui caractérisent un alcool polyatomique.

Par l'ensemble de leurs propriétés, les phénols se rapprochent à la fois, et des acides, et des alcools, sans cependant jouir des propriétés distinctives de chacune de ces séries de composés; en effet, les phénols se rattachent aux acides organiques ou s'en distinguent par les caractères suivants : Les phénols sont susceptibles de s'unir avec les bases et de donner avec elles des composés définis; combinés avec les alcools par voie indirecte, ils donnent naissance à des composés éthérés qui s'écartent des éthers formés par les acides ordinaires; en effet, ces éthers sont susceptibles, lorsqu'on les traite par un acide, de réagir intégralement sur ces acides en donnant naissance à des dérivés analogues à ceux que fournit le phénol lui-même; le phénol ne renferme que deux équivalents d'oxygène, tandis que tous les acides organiques en contiennent au moins quatre; enfin, traité par les acides, il donne naissance à des composés extrêmement stables, ce qui est loin de s'accorder avec les réactions qui ont lieu pour les acides ordinaires : les produits obtenus, dans ce cas, étant toujours très-facilement décomposés.

Si, maintenant, nous comparons les propriétés des phénols à celles des alcools, nous verrons que si elles présentent aussi entre elles quelques analogies, elles offrent surtout de grandes dissemblances; en effet, les phénols peuvent, comme nous l'avons dit, se combiner avec les bases et donner des phénates, mais ces composés s'obtiennent, dans ce cas, bien plus facilement qu'avec les alcools; les composés obtenus par l'action des acides et des alcools sur les phénols sont, de plus complétement différents des composés obtenus par la réaction de ces mêmes corps sur l'alcool; enfin, les réactions sont encore plus tranchées lorsqu'on examine quelle est l'action du chlore et de l'acide nitrique sur ces composés. « Les alcools, dit M. Berthelot, traités par le chlore, ne fournissent dans aucun cas des dérivés par substitution équivalente; le nombre d'équivalents du chlore qui entrent en combinaison est toujours inférieur au nombre d'équivalents de l'hydrogène déplacé. Ainsi, par exemple, l'alcool ordinaire $C^4H^6O^2$ traité par le chlore, produit du choral $C^4HCl^3O^2$. Dans aucun cas, la fonction de ces dérivés chlorés n'est la même que celle des alcools générateurs. Le phénol se comporte tout autrement. Les dérivés chlorés sont

formés par substitution directe et équivalente du chlore à un même nombre d'équivalents d'hydrogène ; de plus, ces dérivés ont des propriétés chimiques fort analogues à celles du phénol. La même remarque peut être faite pour les dérivés nitriques et nitrés. Le phénol s'unit à l'acide nitrique en vertu de la même équation pondérale que l'alcool, et produit du phénol mononitrique, comparable en apparence à l'éther nitrique. Mais le phénol fournit encore deux autres dérivés, l'un dinitrique, l'autre trinitrique, propriété qui l'écarte tout à fait des alcools. De plus, les trois composés phéniques sont semblables aux dérivés nitrés des carbures d'hydrogène et non à l'éther nitrique ; car ils sont privés, comme les premiers, de reproduire les corps générateurs sous l'influence des agents d'hydratation. Enfin, les dérivés nitriques ne sont pas neutres à la façon de l'éther nitrique, mais ils représentent une fonction chimique analogue à celle du phénol, et à cela près que leur caractère acide est bien mieux accusé.

« En résumé, nous voyons donc bien que le phénol représente une fonction chimique spéciale, et distincte des acides et des alcools. Les développements qui précèdent caractérisent suffisamment cette fonction nouvelle, d'autant plus remarquable qu'elle se conserve dans la plupart des dérivés, échappant ainsi aux relations ordinaires, qui concernent la basicité des corps complexes comparée à celle de leurs générateurs. »

Revenons maintenant à notre sujet principal. Outre es propriétés dont nous avons parlé plus haut, l'orcine possède au plus haut degré celle de la surfusion ; sa densité de vapeur, déterminée par M. de Luynes, est 4,20 ; ce nombre correspondant à la formule

$$C^{14}H^{8}O^{4} = 4 \text{ volumes de vapeur.}$$

On l'obtient en assez grande quantité, comme nous l'avons dit, en traitant l'érythrine par la chaux ou la baryte.

Le véritable rôle chimique de l'orcine découle de l'ensemble d'un certain nombre de considérations dans lesquelles il nous faut maintenant entrer ; ce sont ces considérations qui, rapprochées de celles dont nous venons de faire l'exposé à propos des phénols, établiront les analogies qui existent entre l'orcine et la série dont l'acide phénique est le type caractéristique. L'ensemble de ces faits n'est autre chose, du reste, qu'un résumé des tra-

vaux de M. de Luynes sur cette question, travaux réunis par lui dans un mémoire auquel nous renverrons le lecteur désireux de compléter cette étude un peu sommaire des propriétés de l'orcine[1].

L'orcine en dissolution est susceptible de dissoudre la chaux et la baryte en quantité notable; mais les combinaisons bien pures de ces corps sont difficiles à préparer; néanmoins, il paraît probable, d'après les résultats fournis par l'analyse, que les combinaisons se font entre équivalents égaux. Traitée par l'oxyde de plomb, l'orcine donne avec lui un composé parfaitement défini, découvert par M. Dumas; enfin, elle est susceptible de précipiter de leurs dissolutions certaines bases organiques, notamment la quinine, la cinchonine et la nicotine. L'orcine réagit donc sur les bases à la manière des phénols.

Traitée par l'ammoniaque, elle peut donner naissance, suivant les conditions dans lesquelles elle se trouve placée, à deux produits différents : l'un est l'orcéine de Robiquet, obtenu par l'action simultanée de l'eau, de l'air et de l'ammoniaque sur l'orcine; elle se formule $C^{14}H^9A_zO^6$; l'autre, qui est une matière parfaitement incolore, résultant de la combinaison à équivalents égaux de l'orcine et de l'ammoniaque, se transforme très-facilement en orcéine.

L'action de l'acide nitrique sur l'orcine donne naissance à une matière colorante qui jusqu'ici a été peu étudiée; mais les acides organiques se combinent avec elle et produisent des composés décrits par M. de Luynes, avec le plus grand soin, sous les noms d'orcine diacétique, orcine dibenzoïque, etc. Plus récemment[2], M. de Luynes a pu combiner l'acide picrique et l'orcine; le composé obtenu est une belle matière colorante jaune, identique à celle de l'acide picrique. L'orcine se conduit donc encore avec les acides comme le ferait l'acide phénique; la dernière réaction a même pu être répétée avec l'acide pyrogallique qui fait aussi partie du groupe des phénols.

Mais, sans contredit, la réaction qui rapproche le plus l'orcine du groupe phénique est celle que l'on obtient en traitant l'or-

[1] *Annales de physique et de chimie*, 4e série, t. VI, p. 184. — 1865.

[2] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXVII, p. 656. — 1868.

cine par le chlore ou par le brome ; la chlororcine de Schunck, $C^{14}H^5Cl^3O^4$, analysée pour la première fois par M. de Luynes, et la bromorcine de Laurent et Gerhardt, $C^{14}H^5Br^3O^4$, sont en effet des produits obtenus purement et simplement par la substitution à équivalents égaux des éléments du chlore et du brome à ceux de l'hydrogène ; or, cette réaction est une des plus caractéristiques de l'acide phénique qui, dans les mêmes circonstances, donne de l'acide phénique trichloré.

De tous ces faits, il résulte que l'orcine ne peut être considérée ni comme un alcool, ni comme un acide ; la série dans laquelle on doit la placer et qui jusqu'ici rend le mieux compte de ses réactions fondamentales est certainement celle des phénols ; c'est donc à ce nouveau point de vue que nous devons maintenant envisager l'orcine. — « Si nous cherchons à nous faire une idée de la place que l'on doit assigner à ce corps dans la série phénique, nous verrons qu'on connaît aujourd'hui une série bien établie qui renferme l'acide phénique, l'acide oxyphénique et l'acide pyrogallique ou dioxyphénique ; ces trois corps étant liés entre eux par des réactions identiques qui les font dériver tous trois de la série salicylique par l'élimination des éléments de l'acide carbonique[1].

« Mais il y a la même différence entre l'acide phénique et l'acide oxyphénique qu'entre un alcool monoatomique et un alcool diatomique ; ainsi, l'acide oxyphénique engendre des combinaisons diacides quand l'acide phénique en donne des monacides. On rangerait donc ainsi ces trois corps :

[1] M. Lautemann a établi par des expériences remarquables les liens qui unissent ces trois substances :

$$C^{14}H^6O^6 = 2CO^2 + C^{12}H^6O^2$$

A. salicylique. A. phénique.

$$C^{14}H^6O^8 = 2CO^2 + C^{12}H^6O^4$$

A. oxysalicylique. A. oxyphénique.

$$C^{14}H^6O^{10} = 2CO^2 + C^{12}H^6O^4$$

A. gallique ou dioxysalicylique A. pyrogallique.

Annales de physique et de chimie, 4e série, t. VI, p. 202.

Acide phénique. . . . . . $C^{12}H^6O^2$ — phénol monoatonique.
Acide oxyphénique. . . . . $C^{12}H^6O^4$ — phénol diatomique.
Acide pyrogallique. . . . . $C^{12}H^6O^6$ — phénol triatomique.

« De même, l'orcine appartiendrait à une série dont le premier terme serait identique ou isomérique avec le phénol crésylique.

Phénol crésylique?. . . . $C^{14}H^6O^2$ monoatomique.
Orcine. . . . . $C^{14}H^6O^4$ biatomique.

Nous donnons cette dernière hypothèse sous toute réserve; quelque vraisemblable qu'elle puisse paraître, nous croyons qu'une nouvelle étude des propriétés de l'orcine, faite à ce point de vue, serait nécessaire pour justifier complétement cette conclusion du mémoire de M. de Luynes.

Ed. Landrin.

MÉDECINE

I

DE LA VACCINE ET DU VIRUS VACCIN.

I

JENNER.

Depuis quelques années, l'étude des virus et des maladies virulentes est entrée dans une nouvelle phase. De tous côtés les savants ont apporté à l'Académie des sciences et à l'Académie de médecine, des expériences destinées à résoudre des problèmes considérés jusque-là comme insolubles, sur le mode de propagation des virus, leur nature intime, leur génération spontanée ou non spontanée. La vaccine, la morve, la virulence ou la non-virulence de la phthisie pulmonaire, ont soulevé des orages dans le sein de l'Académie de médecine, quelques-uns même sont loin d'être apaisés, et cependant, malgré le talent déployé par les orateurs académiques, il a été une fois de plus démontré que le rôle des académies est de confirmer le succès, non pas de l'annoncer.

Aujourd'hui nous ne parlerons que de la vaccine ; de tous ces virus, en effet, le virus vaccin est le mieux connu, grâce surtout, aux beaux travaux de M. le professeur Chauveau, de Lyon. Une autre raison nous porte d'ailleurs à exposer cette question ; depuis son origine, elle a été étudiée suivant une méthode scientifique qui peut servir de modèle aux expérimentateurs, et enfin, chaque pas en avant a eu pour résultat une application pratique de la plus haute importance. Le lecteur peu initié aux recherches

scientifiques pures sera, nous le pensons, plus particulièrement séduit par ce côté de la question.

On a perdu aujourd'hui le souvenir des ravages de la variole. Importée par les Sarrasins, qui introduisirent en Europe cette peste, encore plus terrible que leurs armes, la variole fit périr des populations entières : un seul exemple suffira pour en donner une idée. Il y a vingt ou vingt-cinq ans la variole envahit, pour la première fois les tribus indiennes du Canada. Vingt à vingt-deux mille individus furent atteints, et en cinq ou six mois la presque totalité de la population disparut. Ce fléau qui pénètra avec les navigateurs européens dans le nouveau monde ne cessa de régner en Europe depuis les invasions des Sarrasins jusqu'à Jenner.

C'est lui qui nous en délivra. Mais ce serait faire injure à la mémoire de ce grand homme que de considérer sa découverte comme l'effet d'un heureux hasard. C'est par l'expérience que Jenner détermina la valeur de la vaccine, et nul, mieux que lui, n'était digne de faire pareille découverte. Jenner était médecin de campagne, préposé surtout à l'inoculation de la variole.

Voltaire, le premier qui parla de l'inoculation en France, raconte plaisamment l'origine mercantile de cette pratique (*Dict. philos.*). Ce sont les Circassiens et les Géorgiens qui la découvrirent. Les Circassiens sont pauvres, leurs filles sont belles, aussi ce sont d'elles qu'ils font le plus de trafic. Ils fournissent de beautés les harems du Grand Seigneur, du sophi de Perse et de ceux qui sont assez riches pour acheter cette marchandise précieuse. Une épidémie de variole correspond pour eux à plusieurs années de disette. Ils remarquèrent vite que sur mille personnes à peine une est atteinte deux fois de la petite vérole, et que les pétites véroles données par contagion sont souvent si bénignes qu'elles ne laissent pas de traces. Aussi pratiquèrent-ils l'inoculation, et celle-ci pénétra en Europe, en Angleterre et en France grâce à l'activité de lady Montague, femme de l'ambassadeur à Constantinople.

Déjà cependant, et depuis longtemps, il était de connaissance assez vulgaire parmi les vachères d'Écosse, que celles d'entre elles qui avaient gagné en trayant les vaches, le cowpox, que les génisses portent quelquefois au pis, étaient à l'abri de la petite vérole. L'une d'elles, devenue duchesse de Cleveland, qui tenait auprès de Charles II un emploi dont la beauté était le principal élé-

ment, disait aux courtisans qui la menaçaient, en riant, de la variole : « Je ne crains rien, car j'ai eu le cow-pox. » Les ennemis de Jenner n'ont pas manqué de rappeler, plus tard, cette tradition, mais « s'ils avaient entendu, ils n'avaient pas compris. »

Jenner, mieux que tout autre, était préparé à comprendre et à faire fructifier. Il était élève du grand John Hunter, du premier, du plus hardi des expérimentateurs, de celui qui entretenait une ménagerie pour alimenter son laboratoire d'expérience, et qui trouvait que « sa clientèle était un damné moyen de nourrir sa ménagerie et son musée. » Jenner, lui-même avait fait un grand nombre d'expériences ; il avait, avec son maître, une correspondance où l'on découvre avec étonnement qu'ils discutaient alors précisement les sujets qui excitent aujourd'hui les plus vives controverses : de l'appareil électrique de la torpille, du phénomène de l'hibernation, de la température des animaux et des végétaux, du mouvement musculaire, etc.

Pratiquant avec zèle l'inoculation dans son pays natal, où il s'était fixé, Jenner s'aperçut que certains individus restaient réfractaires au virus variolique qu'il leur inoculait. Il se convainquit que cette immunité était dévolue aux personnes occupées dans les fermes à soigner et à traire les vaches. Plus de vingt ans s'écoulèrent en observations multipliées. Enfin Jenner ne conserva plus aucun doute.

En 1795 il réunit quatorze personnes ayant eu le cow-pox, depuis un temps plus ou moins long. Il les inocule avec le virus variolique, aucune n'a la variole. Enfin, le 14 mai 1796 (cette date vaut bien celle d'une grande bataille) Jenner prend du vaccin sur la main d'une jeune vachère, l'insère par deux incisions superficielles au bras d'un gros garçon de huit ans. Le vaccin de cet enfant servit à en vacciner plusieurs. Puis il soumet deux fois à l'inoculation de la variole ce gros garçon, celui-ci reste réfractaire. Dès lors, la preuve est faite : la vaccination met à l'abri de la variole, la démonstration est complète.

Est-ce là un hasard ? Un des biographes de Jenner, Lorain, a eu raison d'inscrire cette découverte à l'actif de la médecine expérimentale. (*Conférences historiques*, 1866.)

II

REVACCINATIONS. — SYPHILIS VACCINALE. — VACCINATION ANIMALE.

Je ne parlerai ici ni de l'enthousiasme qui accueillit la découverte de Jenner, ni des luttes que lui et ses élèves eurent ensuite à soutenir.

Pendant une vingtaine d'années on crut à l'efficacité absolue de la vaccination, et on put espérer que l'on parviendrait à faire en quelque sorte disparaître la variole. Mais dès 1820-1825, de nouvelles épidémies de variole parurent, et un certain nombre des individus autrefois vaccinés furent atteints. Le plus grand nombre, il est vrai, ne présentait que cette forme atténuée de la maladie qui a reçu le nom de varioloïde, mais d'autres furent plus vivement frappés, quelques-uns moururent. Pendant les années qui suivirent les cas furent plus fréquents, et on se trouva en présence de ces deux hypothèses: le vaccin dégénère; par la transmission successive à travers les organismes, il perd de ses propriétés, ou bien, la vertu préservatrice du vaccin ne dure qu'un temps, et il faut pratiquer des revaccinations.

Les médecins travaillèrent guidés dans deux sens différents par ces deux suppositions. Les revaccinations furent pratiquées d'abord en Prusse. On revaccina tous les soldats, de 1834 à 1843; sur 425,000 revaccinations on obtint des résultats positifs sur 198,000 soldats.

Durant cette période on ne compta dans l'armée que 77 cas de variole et de varioloïde et pas un seul décès. En 1843 la variole régna épidémiquement en Prusse et dans toute l'armée il y eut douze cas de variole.

L'exemple ne fut pas perdu, et à l'instigation de l'Académie des sciences, la France entra dans la même voie quelques années plus tard. Aujourd'hui, l'opportunité des revaccinations n'est plus douteuse. L'expérience prussienne, faite dans des proportions gigantesques, est des plus démonstratives.

Les médecins qui cherchaient la rénovation de la source vaccinale, firent des travaux dont les conséquences pratiques furent aussi importantes, et dont les déductions scientifiques ont encore

une plus haute gravité, car elles touchent à la doctrine toute entière des virus et des maladies virulentes.

Pendant un certain nombre d'années on rechercha les cas de cow-pox chez la vache. Les occasions ne furent pas favorables; on voulut révivifier le vaccin en le retrempant dans sa source primitive, en inoculant des vaches. Fiard, de Reims, fit un certain nombre de tentatives. Elles n'eurent pas de résultat pratique, et succombèrent devant l'indifférence à peu près générale. Mais cette indifférence ne fut pas de longue durée, elle se changea bientôt en une véritable anxiété. Dès 1814, des médecins avaient signalé la possibilité de la transmission de la syphilis par la vaccination. Ces faits, incomplétement observés, n'avaient pas frappé les médecins, qui restaient bien convaincus qu'un seul virus ne peut transmettre simultanément deux maladies virulentes. Mais vers 1859, 1860 et 1861, il ne fut plus possible d'opposer à ces faits une fin de non-recevoir. De véritables épidémies de syphilis s'étaient développées dans des villages à la suite de vaccinations, il n'y avait pas de doute à élever. Qu'il me suffise de raconter une seule de ces épidémies... Elles se ressemblent toutes.

Le 2 juin 1861, à Rivalta, on prit du vaccin sur un enfant que l'on croyait sain, mais qui avait une syphilis héréditaire, dont les signes n'étaient pas encore apparus. On vaccina 47 enfants, 38 d'entre eux présentèrent, quelque temps après, les symptômes les plus évidents de la syphilis. Un de ces 38 enfants avait servi lui-même de vaccinifère dans un autre village, et avait transmis la maladie à 7 enfants sur 17 inoculés de la vaccine. Les petits malades contagionnèrent eux-mêmes leurs nourrices, celles-ci leurs maris; un grand nombre des enfants mourut, et on assista à une de ces épidémies dont les auteurs des derniers siècles nous ont transmis les relations.

Des faits analogues arrivèrent de plusieurs points. Quelques médecins ne voulurent pas encore accepter leur réalité et ils eurent recours à l'expérience directe. Prenant du vaccin sur un individu ayant la syphilis, ils l'inoculèrent à des individus sains, et ils purent assister à la double évolution de la vaccine et de la syphilis. Nous devons énergiquement flétrir de pareilles expériences; si la conviction n'était pas complète pour ces médecins, ils n'avaient qu'un droit, c'était de faire l'expérience sur eux-mêmes; pas un ne l'a osé.

Le résultat, toutefois, reste acquis : on peut transmettre, en même temps, la syphilis et la vaccine. M. le docteur Viennois de Lyon, a parfaitement démontré (*Examen des opinions émises par M. Ricord*, Lyon 1865) que lorsqu'on prend du vaccin, rien que du vaccin, même chez un syphilitique, on ne donne que la vaccine, mais si on fait saigner la pustule vaccinale, si la lancette rapporte du sang, et cela est souvent inévitable, on donne en même temps la vaccine et la syphilis. En un mot, un seul virus ne donne qu'une seule maladie virulente, mais la lancette porte deux virus, vaccine et sang infecté, et elle donne deux maladies virulentes.

Ces expériences entraînent avec elles une conclusion absolue. Ce n'est plus seulement l'affaiblissement du vaccin, d'ailleurs très-douteux, que nous devons craindre, mais c'est la transmission par la vaccination d'une odieuse maladie. Il n'y avait pas à hésiter, il fallait vacciner par le cow-pox lui-même, pris sur le pis de la vache.

M. Palasciano à Naples, M. Lanoix à Paris, organisèrent un service de vaccination dite vaccination animale, où chaque enfant est vacciné directement de la vache au bras. Les autres pays imitèrent cet exemple, lui donnèrent une forme officielle qui lui manque encore en France, et créèrent des instituts de vaccination. Que ces institutions se développent et on n'aura plus à relater d'histoires aussi lamentables que celle de Rivalta.

On a adressé à la vaccination animale une objection qui a un peu troublé sa propagation au début. Les vaccinations, et surtout les revaccinations semblaient donner plus souvent des résultats négatifs par la vaccination animale que par la vaccination de bras à bras. La culture du vaccin chez l'homme assurait, disait-on, davantage le succès de la vaccination.

La statistique a montré à M. Husson, directeur général des hôpitaux, que sur 7027 enfants, dont 6130 avaient été inoculés avec du cow-pox et 897 de bras à bras, on notait pour 100 une proportion a peu près égale de sujets chez qui la vaccine s'était normalement développée, quelle que fût la source du vaccin.

M. le docteur Danet a réuni un total de 4592 revaccinations par le cow-pox. Il trouve notés : résultats positifs 1838, soit 40 p. 100, tandis que sur un total de 3803 revaccinations de bras à bras, les résultats positifs, obtenus ne sont que de 982, soit 26 p. 100.

Sans accepter d'une façon absolue les résultats de ces statistiques dans lesquelles entrent des éléments très-divers, nous pouvons conclure que le cow-pox est aussi actif que la vaccine cultivée chez l'homme.

Rien ne peut donc maintenant autoriser le médecin à ne pas recourir à la vaccination animale, lorsqu'il peut avoir le cow-pox à sa disposition.

III

VARIOLE ET VACCINE, LEUR NON-IDENTITÉ.

Pendant ces recherches une autre question avait surgi : Thiélé et Ceely, n'ayant pu se procurer du cow-pox, inoculèrent à une vache du virus pris sur un individu atteint de variole, transmirent à des générations successives le produit de cette inoculation. Ils prétendirent avoir ainsi reproduit du vaccin. Était-ce du vaccin, ou, revenus à l'ancienne pratique, ne faisaient-ils pas ainsi la simple inoculation de la variole?

De plus, M. Bouley ayant observé sur des chevaux une éruption pustuleuse, lui reconnut des propriétés vaccinogènes. M. Depaul qui avait été mis par son collègue à même d'étudier l'affection vaccinogène d'Alfort la considéra comme une variole, la variole du cheval. Et poussant plus loin les déductions, il admit que le horse-pox, le cow-pox, le vaccin, la variole étaient des affections identiques ayant la variole pour source commune. Pour lui c'était une même maladie qui changeait de forme, se développait complète ou incomplète, selon qu'elle frappait tel ou tel animal. Les virus pouvaient donc se transformer en changeant de terrain ; cette proposition étonna quelques-uns des académiciens devant qui elle fut formulée, comme aurait surpris des horticulteurs une proposition tendant à démontrer qu'en semant des mêmes graines de fraisiers, par exemple, dans des terrains de natures diverses, il pousserait des fraisiers d'espèces différentes. La discussion à l'Académie fut vive, brillante, mais n'amena pas de conclusions évidentes. M. Chauveau, de Lyon, avec quelques-uns de ses collègues, MM. Viennois, Meynet, Delore, Lortet, etc., institua des expériences qui, pour nous, montrent d'une façon absolue quelle est la vérité.

Le Comité de Lyon commença ses recherches avec l'idée préconçue, nous tenons cet aveu de M. Chauveau, que les opinions de M. Depaul étaient exactes.

La commission lyonnaise s'est trouvée dans des conditions excellentes, pour faire l'étude comparée de la vaccine et de la variole chez les animaux de l'espèce bovine. Deux magnifiques vacheries avaient été mises à sa disposition, l'une par M. Lœuillet, directeur de l'école de la Saulsaie, où l'on compte 160 têtes de bétail ; l'autre par M. Caubet, au parc de la Tête-d'Or, qui renferme environ 100 animaux. Dans les deux établissements la plupart des sujets sont nés sur les lieux mêmes. On connaît parfaitement leur état de santé depuis le moment de leur naissance, et on a été sûr de n'agir que sur des animaux qui n'avaient pas eu antérieurement le cow-pox, ce qui eût compliqué les résultats. Cette maladie n'a jamais régné à la Saulsaie. Quant à la vacherie de la Tête-d'Or, elle a été envahie par la cocotte quelque temps avant ces expériences. Cette circonstance a permis aux expérimentateurs de résoudre accessoirement la question de la nature vaccinale de la fièvre aphtheuse.

Du vaccin animal, le cow-pox fut fourni par MM. Palasciano, de Naples, et Lanoix, de Paris. Une première série de trente bêtes prises sans distinction d'âge ni de sexe, fut inoculée, et sur tous ces animaux, sans exception, on fit naître de magnifiques éruptions vaccinales. Ces éruptions sont restées absolument locales.

Une deuxième série d'une vingtaine de bêtes fut inoculée avec du vaccin humain, vaccin récemment importé sur l'homme ou ancien vaccin jennerien. La réussite fut presque aussi complète. En effet l'inoculation ne manqua que sur une tête, inoculée avec du vaccin recueilli un peu trop tard.

La commission lyonnaise a donc réussi aussi bien que M. Bousquet dans sa tentative d'inoculation de vaccin aux animaux de l'espèce bovine, elle a même été plus heureuse, car elle a réussi aussi bien sur les bêtes déjà âgées que sur les jeunes veaux, et aussi bien avec l'ancien vaccin jennerien qu'avec le vaccin récemment implanté sur l'espèce humaine. De plus le cow-pox, ainsi obtenu, a paru presque aussi beau que le cow-pox vrai. (Les planches annexées au mémoire de la commission en font foi.) Ce cow-pox, ainsi venu de la vaccine humaine, a pu être transmis chez

l'homme et chez le bœuf, pendant plusieurs générations sans qu'il s'altérât.

Aussi, faute de cow-pox vrai, MM. Chauveau, Viennois, Meynet, etc., se sont-ils servis souvent du cow-pox artificiel pour inoculer des enfants, et ces pustules ont été aussi belles que celles produites par le cow-pox vrai.

Ces deux séries d'inoculations vaccinales ont donné des résultats d'une netteté parfaite, et on peut admettre l'identité du cow-pox et du vaccin cultivé chez l'homme. Voyons maintenant si les inoculations varioliques ont donné les mêmes résultats.

Dix-sept vaches, génisses ou taurillons, compagnons des précédents, ont été inoculés de la variole humaine : les uns en 1863, les autres en 1865. Les inoculations ont été faites avec le plus grand soin. Aucun des sujets n'a pris le cow-pox. Les inoculations ne sont pas restées sans effet, toutes ont déterminé la formation de très-petites papules rougeâtres. Ces papules ont disparu rapidement sans laisser de croûte, par une sorte de résorption.

On peut en conclure que le virus vaccin et la variole ne donnent pas de résultats identiques, mais, qu'est-ce que cette éruption papuleuse déterminée par l'inoculation de la variole ? A-t-elle quelque chose de spécifique ? Ou ne serait-ce pas tout simplement le résultat du travail inflammatoire déterminé par la piqûre elle-même ? Cette dernière supposition est une erreur.

En effet, 15 de ces 17 animaux ont subi une contre-inoculation vaccinale pratiquée pour dix d'entre eux avec le cow-pox vrai, pour les cinq autres avec la vaccine humaine. Or, sur ces quinze animaux, un seul a pris un beau cow-pox, trois ont eu des pustules vaccinales éphémères et rudimentaires ; tous les autres, au nombre de onze, ont été exempts d'éruption. C'est là un fait entièrement neuf, d'une importance capitale. Il prouve que les papules provoquées dans l'espèce bovine par l'inoculation de la variole constituent une éruption spécifique, et que cette éruption possède avec le cow-pox les mêmes relations que la vaccine et la variole dans l'espèce humaine. En effet, la variole préserve le bœuf du cow-pox, comme le cow-pox protége l'homme contre la variole.

Voyons maintenant ce qu'est cette éruption variolique chez le bœuf. N'est-ce qu'un cow-pox rudimentaire qui n'aurait besoin

pour se développer que d'être cultivé pendant un certain temps sur les animaux de l'espèce bovine ?

La commission lyonnaise a excisé les pustules varioliques du bœuf, elle a pu en extraire par le raclage une certaine quantité de sérosité. Cette sérosité a été inoculée à plusieurs animaux. Mais à cette seconde génération la variole n'a produit que des effets encore plus faibles, ou même tout à fait nuls. Que faut-il en conclure ? C'est que les effets engendrés par l'inoculation variolique sont quelque chose de tout différent du cow-pox.

Est-ce purement et simplement la variole ?

Pour le savoir la commission lyonnaise a inoculé cette même sérosité des papules varioliques bovines à un enfant non vacciné. L'enfant a eu une variole confluente généralisée.

Un second enfant a été inoculé avec la pustule primitive du premier. Ce deuxième sujet a eu une variole discrète, parfaitement caractérisée.

Dans ces deux cas il ne s'agissait pas d'une éruption vaccinale généralisée, car l'inoculation au bœuf n'a pas produit le cow-pox, mais une éruption papuleuse de la variole bovine.

On peut donc conclure que la variole s'inocule au bœuf, mais elle ne se transforme pas en vaccine en passant par l'organisme de cet animal. Elle reste variole et revient à l'état de variole quand on la rapporte sur l'espèce humaine.

Les résultats de l'inoculation de la vaccine et de la variole au cheval, faites également dans les mêmes conditions, donnèrent des résultats parfaitement analogues.

Il est inutile d'exposer à nouveau ces dernières séries d'expériences instituées de même et ayant les mêmes résultats.

Je passe immédiatement aux conclusions.

On peut donc admettre avec la commission que la variole humaine s'inocule au bœuf et au cheval avec la même certitude que la vaccine.

Les effets produits par l'inoculation des deux virus diffèrent absolument.

Chez le bœuf, la variole ne produit qu'une éruption de papules si petites, qu'elles passent inaperçues lorsqu'on n'est point prévenu de leur existence.

La vaccine, au contraire, engendre l'éruption vaccinale type avec ses pustules larges et fort bien caractérisées.

Chez le cheval, c'est aussi une éruption papuleuse sans sécrétion ni croûte qu'engendre la variole ; mais quoique cette sécrétion soit beaucoup plus grosse que celle du bœuf, on ne saurait la confondre avec le horse-pox, si remarquable par l'abondance de sa sécrétion et l'épaisseur de ses croûtes.

La vaccine ou la variole inoculée séparément s'oppose généralement au développement ultérieur de la variole ou de la vaccine.

Cultivée méthodiquement sur ces animaux, c'est-à-dire transmise du bœuf au bœuf, et du cheval au cheval, la variole ne se rapproche pas de l'éruption vaccinale. Cette variole reste ce qu'elle est, ou s'éteint tout à fait, et transmise à l'homme elle lui donne la variole.

Reprise à l'homme et transportée de nouveau sur le bœuf ou le cheval, elle ne donne pas davantage à cette seconde invasion le cow-pox ou le horse-pox.

Donc, malgré les liens évidents qui, chez les animaux, comme chez l'homme rapprochent la variole de la vaccine, ces deux affections n'en sont pas moins parfaitement indépendantes, et ne peuvent pas se transformer l'une dans l'autre.

Donc, en vaccinant d'après la méthode de Thiélé et de Ceely, on pratique l'ancienne inoculation, rendue peut-être constamment bénigne, par la précaution que l'on prend de n'inoculer que l'accident primitif, mais ayant à coup sûr conservé tous ses dangers au point de vue de la contagion.

Ce qui pour moi constitue la partie neuve, essentielle du mémoire, ce qui constitue sa supériorité sur les tentatives antérieures, c'est qu'on ne s'est pas contenté d'inoculer de l'homme au bœuf, ou du bœuf à l'homme, mais que l'on a complété le cercle en étudiant les effets de la culture de ce virus portés de l'homme au bœuf, puis reportés du bœuf à l'homme. La chaîne a été ainsi complétement rétablie, et on a vu que chaque virus conserve sa spécificité propre, son individualité, quel que soit le terrain sur lequel on le cultive.

IV

DE L'ORIGINE DE LA VACCINE.

Les expériences précédentes nous ont conduit à cette conclusion, que la vaccine et la variole sont deux maladies différentes, inca-

pables de se transformer l'une dans l'autre, bien que des rapports multiples établissent entre elles des liens d'étroite parenté. On serait tenté d'aller plus loin et de considérer le cow-pox comme une maladie exclusivement spéciale à la race bovine et seulement capable de se cultiver chez l'homme. Ce n'est pourtant là l'opinion ni de Jenner ni celle que semblent justifier les dernières recherches.

D'après Jenner, la maladie « naît chez le cheval, puis pro-« gresse du cheval à la mamelle de la vache et de la vache « à l'homme. » Les maréchaux désignent, d'après Jenner, cette maladie du cheval sous le nom de « the grease ; » lui la nomme sore-heels (mal de talon). En France, on a cru y reconnaître une maladie que les vétérinaires décrivent sous le nom d'eaux aux jambes des chevaux.

Depuis Jenner, l'origine de la vaccine a donné lieu à un nombre de travaux immense, et dans lesquels règne la confusion la plus absolue.

Nous chercherons seulement à déterminer les quelques questions suivantes, les plus importantes de celles qui ont été soulevées. Quelle est cette maladie du cheval inoculable à la vache, donnant naissance au cow-pox? Cette maladie est-elle inoculable à l'homme? Naît-elle spontanément ou toujours par contagion? Existe-t-il chez les animaux d'autres maladies capables de faire naître le cow-pox?

Le fait sur lequel se sont fondés Jenner et ses successeurs pour attribuer l'origine du cow-pox à une maladie du cheval est celui-ci : Il se développe quelquefois sur les mains des maréchaux-ferrants des pustules analogues à celles du cow-pox et de la vaccine.

Le liquide pris sur une lancette et inséré au pis de la vache ou au bras d'un enfant donne naissance à la vaccine légitime. (Jenner, — Loy d'Aislaby, etc.)

Les maréchaux-ferrants, chez qui ces pustules se sont montrées, accusent tous, comme cause de contagion, le contact avec des chevaux atteints d'eaux aux jambes (the grease de Jenner). Mais des expérimentateurs très-nombreux essayèrent en vain de faire naître du cow-pox chez la vache en inoculant la sérosité prise sur des chevaux atteints de cette maladie. Quelques médecins avaient été plus heureux, mais accidentellement, et ceux qui avaient répété leurs essais échouaient presque toujours. Ces expériences contradic-

toires entretenaient les discussions sans avancer beaucoup la solution du problème, quand arriva à l'école vétérinaire de Toulouse un événement considérable au point de vue qui nous occupe.

Le 30 avril 1860, M. Lafosse montra à ses élèves une jument malade depuis une dizaine de jours, qui portait des pustules aux membres et aux lèvres. Le professeur insista sur la coïncidence de ces lésions aux lèvres et aux jambes comme distinguant cette maladie des eaux aux jambes avec laquelle d'ailleurs elle a une grande ressemblance. A peu de temps de là M. Sarran, vétérinaire près de Toulouse, observait une épizootie ayant les mêmes caractères sur plus de cent bêtes simultanément atteintes.

M. Lafosse inocula du pus pris sur sa jument à une génisse, il obtint cinq pustules semblables à celles du cow-pox. Inoculées à l'homme, ces pustules donnèrent naissance à des boutons de vaccin légitime. Rapportées de l'homme au cheval, ces pustules reproduisirent l'éruption primitive. Malheureusement cette maladie du cheval fut regardée comme différente du grease, on crut avoir trouvé une nouvelle maladie vaccinogène, et on persista à voir dans le grease, les eaux aux jambes, la source ordinaire du cow-pox, source qui pourtant avait bien souvent trahi l'espoir des nombreux savants qui en avaient fait usage.

En 1863, M. H. Bouley, inspecteur général des écoles vétérinaires, observa à Alfort une épizootie qu'il considéra comme une stomatite aphtheuse. Il constata que l'inoculation produisait chez la vache des pustules tout à fait semblables à celles du cow-pox. Ces pustules avaient servi à vacciner avec succès un enfant et trois élèves d'Alfort. M. Bouley pria ses collègues de l'académie de suivre par eux-mêmes cette épizootie, et M. Depaul fut assez habile pour fixer définitivement la valeur de l'éruption du cheval. Il fit voir que cette éruption n'est pas locale mais générale, que les lésions buccales ne sont pas des vésicules, mais des pustules modifiées par leur développement sur les muqueuses. M. Bouley abandonna franchement ses premières opinions, et répara heureusement son erreur, en démontrant que c'était par suite d'une série de semblables erreurs de diagnostic que l'on considérait les eaux aux jambes comme la source du cow-pox. Les eaux aux jambes, quand elles existent seules ne donnent rien, et les résultats d'inoculation positive du cheval à la vache obtenus, doivent être regardés comme le fait du transport de cette maladie du cheval à la

vache. Il désigna la maladie vaccinogène du cheval sous le nom de horse-pox. C'est elle et elle seule qui donne le cow-pox.

Cette origine du vaccin sur le cheval une fois connue, on conçoit facilement comment il se trouve transporté sur le pis de la vache. Une anecdocte fort simple, rapportée par lord Asaph et citée par Jenner, montre un des modes de contagion. Lord Asaph eut un cheval atteint de grease; cet animal était enfermé dans une écurie isolée et fort éloignée des étables, cependant on vit bientôt toutes les vaches de la ferme atteintes du cow-pox. Un fait aussi intéressant éveilla l'attention, une enquête eut lieu, on fit comparaître les domestiques ou valets de ferme, et voici ce qu'on reconnut : le palefrenier qui soignait le cheval malade allait aider sa fiancée à traire les vaches, et c'était lui qui avait été le véhicule du virus.

Cette maladie du cheval est, on le voit, directement inoculable à l'homme, elle le préserve de la variole comme le vaccin. Le horse-pox et le cow-pox sont une même maladie que l'on peut cultiver sur des animaux d'espèces différentes. Jenner l'avait déjà montré, les expériences précédentes ne laissent pas prise au doute.

Pouvons-nous aller plus loin, et pénétrant plus profondément dans l'origine du virus, pouvons-nous savoir si le horse-pox naît spontanément, ou devons-nous admettre qu'il y a toujours contagion ? Transport d'une graine allant semer la maladie là où elle se pose ?

Les partisans de la genèse spontanée du virus invoquèrent à l'appui de leur thèse un argument d'un assez vif effet. Lorsque le horse-pox est inoculé sur un cheval ou sur un animal quelconque, l'éruption se produit au point même où a été faite l'inoculation, l'éruption ne se généralise pas (sauf dans quelques cas très-exceptionnels dont nous donnerons plus loin l'explication). Dans le horse-pox naturel spontané, venu sans inoculation, il ne se produit pas une éruption locale, mais bien une éruption générale, ou mieux, généralisée, c'est-à-dire occupant la bouche, le nez, le plis du paturon, les talons, etc. Il y a là une différence qu'il suffit de mettre en lumière pour prouver que ce sont deux maladies à évolutions différentes ; on peut donc admettre que l'une est née spontanément, sous l'influence de conditions individuelles inconnues, que l'autre est le résultat simple de l'inoculation.

M. Chauveau a enlevé cet argument aux partisans de la nais-

sance spontanée du virus. Sur des chevaux il met à nu un vaisseau lymphatique, il injecte dans ce vaisseau du virus vaccin, que se produit-il? précisément une éruption absolument semblable à celle du horse-pox dit spontané ; cette éruption, dont je ne peux décrire ici les caractères, occupe exactement les mêmes siéges, elle se généralise, et il ne se produit pas d'accident local de nature vaccinale, au point d'inoculation. Ce résultat a été absolument le même quand M. Chauveau a injecté du vaccin dans la veine jugulaire, dans le tissu cellulaire sous-cutané des chevaux, ou même lorsqu'il leur a fait avaler par le tube digestif des matières imprégnées de virus vaccin.

M. Chauveau en conclut que la pénétration dans l'économie du virus vaccin par une voie autre que la peau donne naissance à une éruption identique à celle du horse-pox spontané. Donc on ne peut invoquer la forme spéciale d'éruption en faveur de la spontanéité du virus. M. Chauveau se garde d'ailleurs d'aller au delà, il ne nie pas la possibilité de la spontanéité, mais il enlève à cette théorie un puissant argument.

Comment se fait-il que par la piqûre de la peau, on n'obtienne qu'une éruption locale dans l'immense majorité des cas? On peut concevoir que la peau, étant en définitive le siége d'élection des manifestations de la maladie, il se fasse dès le début au point lésé un travail capable d'épuiser la somme des manifestations possibles, mais ce n'est là qu'une hypothèse. En revanche, on s'explique très-bien les cas rares dans lesquels on a vu une éruption généralisée succéder à l'inoculation. Il est probable qu'il y a eu dans ce cas insertion du virus dans quelque lymphatique.

On sait donc aujourd'hui que le horse-pox est une source du vaccin, que la contagion du horse-pox chez les chevaux donnera naissance à la forme du horse-pox décrite sous le nom de horse-pox spontané. On n'est pas autorisé à nier absolument la possibilité de cette dernière variété du horse-pox.

On a indiqué encore au nombre des maladies vaccinogènes la clavelée et la maladie aphtheuse. Hurtrel d'Arboval a constaté que sur 1,523 bêtes à laine vaccinées, 1,340 l'ont été avec succès. Sur ces 1,340 moutons, 429 seulement ont subi des épreuves, et la clavelée s'est montrée 308 fois. Donc la vaccine ne préserve pas les moutons de la clavelée. Sacco prétend avoir déterminé la clavelée chez l'homme et en avoir fait le point de départ de vaccina-

tions légitimes. Depuis on a répété bien souvent cette expérience, mais toujours avec un même insuccès. Nous pensons donc que c'est à tort que la clavelée a été comprise parmi les sources du vaccin.

Dans les expériences que les membres du comité de Lyon ont instituées et que nous avons rapportées plus haut, ces messieurs ont incidemment montré que la fièvre aphtheuse ne saurait être assimilée au cow-pox. En effet, le cow-pox a été inoculé à une série d'animaux atteints de fièvre aphtheuse très-peu de temps auparavant. Ces animaux, au nombre de cinq, ont tous pris une belle éruption vaccinale. Ce qui prouve suffisamment que ce sont des maladies sans parenté.

Nous ne connaissons donc chez les animaux qu'une maladie capable de faire naître le cow-pox c'est le horse-pox.

V

DES ÉLÉMENTS ACTIFS DU VIRUS VACCIN.

L'humeur virulente fournie par la pustule vaccinale est un produit complexe, analogue, par sa composition, à toutes les sérosités pathologiques non spécifiques. Les analyses chimiques et microscopiques n'y font découvrir aucun élément spécial auquel on puisse attribuer l'activité propre du vaccin. Cette activité réside nécessairement dans les éléments communs qui concourent à la formation de la sérosité vaccinale ; or, siége-t-elle dans tous ces éléments ? Ou bien est-elle propre à quelques-uns d'entre eux ? Telle est la question qui, jusqu'à présent, avait été délaissée par les expérimentateurs.

M. Chauveau a essayé d'en donner la solution. Pour cela il fallait interroger isolément l'activité des diverses parties constituantes du vaccin ; d'une part, le sérum contenant avec l'albumine qui en forme la base, toutes les autres substances solubles ; d'autre part les éléments solides, c'est-à-dire les leucocytes, les granulations élémentaires, qui sont tenus en suspension dans la sérosité.

Pour étudier l'activité propre du sérum vaccinal, il fallait l'obtenir entièrement dépouillé des particules solides dont il est

chargé. C'était une difficulté. En effet, par la filtration et la décantation on peut enlever ses leucocytes au plasma, mais ce fluide retient toujours les éléments solides les plus nombreux, les granulations. Celles-ci, en effet, à l'instar des particules de tannate de fer qui colorent l'encre, ne se déposent jamais complétement dans les couches profondes et passent à travers tous les filtres.

Toutefois, si par la décantation on prive le liquide de ses leucocytes, il reste tout aussi virulent. Voici l'expérience, dont nous ne saurions abréger les détails, car toute la valeur des résultats obtenus est intimement liée aux minuties du procédé lui-même.

De la sérosité vaccinale est mélangée avec dix fois son poids d'eau, afin de diminuer sa densité et sa viscosité, sans altérer sensiblement son activité virulente. Grâce à cette précaution, le vaccin placé dans une petite éprouvette, et abandonné vingt-quatre heures à lui-même, dans un repos complet, laisse déposer au fond du vase la plupart des leucocytes, sinon tous. On s'en assure, en aspirant, avec un tube capillaire, la couche superficielle, qu'on fait passer ensuite sur le porte-objet du microscope pour la soumettre à l'examen. Si la gouttelette ainsi examinée se montre complétement dépourvue de leucocytes, on peut s'en servir pour pratiquer des inoculations cutanées. Dans tous les cas M. Chauveau a obtenu des pustules vaccinales.

Ainsi les leucocytes ne constituent pas les agents essentiels de la virulence. Ils peuvent partager cette propriété avec les autres éléments du liquide vaccinal, mais ils ne la possèdent pas exclusivement.

En est-il de même des granulations, peut-on s'en débarrasser et obtenir des résultats positifs d'inoculation ?

M. Chauveau a réussi à priver la sérosité vaccinale de tous ses corpuscules solides en utilisant le phénomène bien connu de la diffusion. De la sérosité vaccinale est introduite au fond d'une très-petite éprouvette, on a soin d'éviter que le liquide ne touche les parois du vase au-dessus du niveau que ce liquide doit atteindre, puis on verse dessus une couche d'eau distillée, avec toutes les précautions voulues pour qu'il ne se produise aucun courant capable de déterminer mécaniquement le mélange des deux fluides. De cette manière on a dans l'éprouvette une colonne liquide

formée de deux couches, de densité et de composition différentes : une supérieure, composée d'eau pure, une inférieure, constituée par le vaccin, et renfermant avec les éléments solides de celui-ci toutes les substances dissoutes qui entrent dans la composition de la sérosité vaccinale. On abandonne l'éprouvette à elle-même dans un milieu à température constante, où le liquide, mis à l'abri de l'évaporation, soit maintenu dans un repos complet ; les corpuscules en suspension dans la couche inférieure y restent confinés tant qu'aucune action mécanique ne les sollicite pas à monter dans la couche supérieure. Mais il n'en est pas de même des substances albumineuses et salines dissoutes dans la sérosité. En vertu des lois de la diffusion, ces substances passent dans la couche aqueuse, les unes plus vite, les autres moins, suivant le pouvoir diffusible. Le transport s'effectue sans que les particules solides y prennent part, le mouvement atomique qui constitue la diffusion étant incapable d'entraîner par lui-même d'autres éléments que ceux sur lesquels l'eau exerce son affinité moléculaire.

Quand il s'est écoulé le temps nécessaire pour que la diffusion ait amené à la surface de l'eau, une notable proportion des principes qui constituent la sérosité vaccinale, on retire le liquide couche par couche, en l'aspirant à l'aide de fins tubes capillaires. On obtient ainsi, dans les premiers tubes, tous les éléments solubles qui forment la sérosité vaccinale ; dans les derniers, ces mêmes éléments, plus les corpuscules en suspension, c'est-à-dire le vaccin complet plus ou moins dilué. Les deux sortes de liquides peuvent être alors inoculés comparativement soit sur le même sujet, soit sur des sujets différents.

M. Chauveau a fait cette étude comparée sur l'enfant, le cheval et la génisse. Les inoculations pratiquées avec le liquide inférieur, c'est-à-dire avec le vaccin complet, réussirent aussi bien que si elles avaient été pratiquées avec le vaccin pur. Les autres, faites avec le plasma dilué, échouèrent toujours de la manière la plus complète. M. Chauveau avait d'ailleurs essayé chimiquement ce dernier liquide et s'était assuré qu'il contenait une grande quantité d'albumine. On ne peut donc invoquer ni l'absence de cet élément fondamental, ni sa grande dilution pour expliquer l'inactivité de la sérosité vaccinale.

On peut donc conclure de ces expériences que la sérosité vac-

ninale n'est pas virulente, et que l'activité du vaccin réside dans ses granulations solides.

M. Chauveau a voulu mettre ces résultats à l'abri de toutes les objections. Il en a prévu quelques-unes. Ainsi on pouvait penser que le principe virulent siégeait dans le plasma même, mais que ce principe ne diffusait pas aussi facilement que l'albumine et les sels. Dans cette hypothèse, M. Chauveau fait remarquer que, en faisant du vaccin une dilution très-étendue, et en produisant un liquide homogène, on doit obtenir un liquide qui possède toujours la même propriété, c'est-à-dire donnant toujours naissance à des inoculations positives ou donnant toujours des résultats négatifs. Tandis que si le principe virulent réside dans les granulations en étendant le liquide vaccinal d'une grande quantité d'eau, on doit avoir tantôt des résultats positifs, tantôt des résultats négatifs, selon que le hasard aura déposé sur la lancette plus ou moins de granulations.

Or, les vaccinations faites avec le vaccin étendu de 2 à 15 fois son poids d'eau, comptent presque autant de succès que de piqûres. A partir de la dilution au 50e au contraire, les inoculations échouent le plus souvent. M. Chauveau a pourtant obtenu dans un cas une pustule sur dix piqûres faites avec du vaccin étendu dans 150 fois son poids d'eau. Quant aux inoculations pratiquées avec les dilutions comprises entre la 15e et la 50e, les unes avortèrent, les autres réussirent, mais le nombre de piqûres avortées fut toujours plus grand avec les dilutions étendues.

Ajoutons que dans tous les cas où l'inoculation a réussi, M. Chauveau a toujours obtenu des pustules identiques à celles de l'inoculation du vaccin pur.

M. Chauveau considère donc ces expériences comme de tous les points contraires à l'hypothèse de la présence du principe virulent dans le plasma de la sérosité vaccinale, et en conformité parfaite avec l'hypothèse de l'activité virulente des éléments solides flottant dans cette sérosité.

Enfin M. Chauveau ajoute à l'appui de cette démonstration une dernière expérience. On vient de voir que l'humeur vaccinale très-diluée ne peut s'inoculer à la lancette que très-exceptionnellement. Si c'est réellement parce que les corpuscules virulents, très-éloignés les uns des autres dans la dilution, ne sont amenés que rarement sur la pointe de la lancette, l'inoculation en masse

du liquide dilué devra, au contraire, réussir à tous coups. Or, c'est ce qui ne manque pas d'arriver. En injectant dans l'appareil circulatoire du vaccin dilué à n'importe quel degré on infecte toujours le sujet d'expérience.

M. Chauveau conclut de ces expériences, que le principe actif du virus vaccin siége dans la granulation et non dans le plasma, et nous sommes pour notre part convaincus par ces belles et patientes recherches.

Ajoutons que l'étude dont nous venons de donner le résumé, a été répétée par M. Chauveau sur d'autres virus, ceux de la variole, de la morve, de la clavelée, et que les résultats ont été identiques. Nous ne faisons qu'indiquer cette série de mémoires, l'activité scientifique de M. Chauveau et de ses élèves, peut être aussi les travaux de quelques contradicteurs nous forceront sans doute dans un autre volume à reprendre l'étude des virus et des maladies virulentes.

P. Brouardel.

II

BIBLIOGRAPHIE

Leçons sur la cataracte, par Em. Foucher; recueillies et publiées par MM. Bousseau et Vaslin [1].

Malgré les nombreux ouvrages qui depuis quelques années ont été publiés sur l'œil et ses affections diverses, on manquait encore d'une monographie de la cataracte qui fût au niveau des connaissances actuelles, et qui indiquât ce que le diagnostic de cette affection, sinon son traitement, a retiré de l'application rationnelle de la physique et de ses procédés. Le cours complémentaire d'ophthalmologie institué à la Faculté de médecine et dont E. Foucher avait été chargé, avait pour but d'initier les élèves à l'emploi de ces connaissances qui, jusqu'alors, avaient été le partage exclusif de quelques spécialistes, et que l'on doit tendre à propager, parce qu'elles sont d'une utilité incontestable, et parce

[1] 1 vol. in-8. — Masson, 1868.

qu'elles n'exigent cependant pas des études très-longues ni très-compliquées.

L'ouvrage de Foucher sur la cataracte comporte douze leçons dans lesquelles il a traité toutes les questions se rapportant au sujet. Après un historique de la question vient l'indication des divers modes d'exploration de l'œil soit par l'étude des images de Sanson, soit au moyen de l'éclairage latéral, soit par l'ophthalmoscope; les principales conséquences qu'on peut déduire de cet examen sont groupées dans ce chapitre. La description détaillée des diverses espèces de cataractes, leurs caractères distinctifs, leur histoire propre fait le sujet de quatre leçons. Les six dernières leçons sont consacrées au traitement de la cataracte, à une étude très-complète des divers modes d'opération : ces méthodes, plus ou moins modifiées, ont été alternativement en vogue sans que les avantages ou les inconvénients des unes ou des autres les aient fait définitivement adopter ou repousser. La méthode par abaissement, celle par extraction, la discision même peuvent être indiquées dans un cas donné ; aussi le manuel opératoire de chaque méthode est-il minutieusement décrit et les complications possibles sont-elles notées avec soin. Des figures très-bien dessinées ajoutent une extrême précision à la description de l'opération.

Ces leçons ont été recueillies et publiées par MM. Bousseau et Vaslin, avec un très-grand soin. La mort de Foucher, arrivée bien prématurément, n'a point arrêté, comme on avait pu le craindre, la publication de son dernier ouvrage qui, pour n'être pas absolument original, ne laisse pas que d'être d'une réelle utilité, et que l'on ne saurait à cet égard trop recommander.

C.-M. Gariel.

Conseils à une mère sur la manière d'élever ses enfants, par Pyc-Henry Chavasse, docteur en médecine du Collége royal des chirurgiens d'Angleterre; traduit de l'anglais par John Montaigu Didsbury. (Premier âge.) — Masson, 1868. — *Le rôle des mères dans les maladies des enfants*, par le professeur Fonssagrives.

S'il est un sujet de conversation qui puisse plaire particulièrement à une jeune mère, c'est celui qui touche à ce qu'elle a de

plus cher, au petit enfant qu'elle vient de mettre au monde; je parle d'une mère véritable, qui ne regarde pas le malheureux petit être qui arrive comme une gêne dont il faut se débarrasser au plus vite, en l'envoyant en nourrice, c'est-à-dire bien souvent à la mort; non, je songe à la jeune femme qui comprend l'étendue de ses devoirs, qui veut les remplir entièrement et qui se sent responsable de la santé de son enfant; à celle-là les conseils donnés par le médecin anglais seront précieux; elle lira avidement ces prescriptions simples, arrangées sous forme de conversations familières, qu'elle n'aura aucune peine à suivre. Elle y trouvera les instructions pour ce qu'elle doit faire, et surtout ne doit pas faire; quels sont les soins de propreté qu'exige l'enfant, comment il le faut nourrir. Si ce livre tombe entre les mains d'une mauvaise mère ou d'une maladroite qui n'a pas eu le courage de garder son enfant, qui n'a pas eu l'adresse de faire accepter par le mari, souvent moins tendre qu'elle, les ennuis, les dérangements qu'amène dans la maison la présence du baby, elle y entendra de dures paroles qui pourront la retenir dans son devoir.

M. Chavasse a prévu tout ce qui peut se présenter dans les premiers jours de la naissance. Il indique comment il faut endormir le baby et le soigner s'il est malade; il donne même quelques indications précises sur les premiers remèdes à appliquer avant l'arrivée du médecin. La jeune mère trouvera dans ces conseils un sujet de lecture qui doit la toucher au cœur, puisqu'elle aura plus de chance, étant plus instruite, de mieux élever son enfant et de lui épargner souffrances et maladies. Ce livre, en Angleterre, a déjà eu neuf éditions tirées à quatre ou cinq mille exemplaires, c'est donc de trente-cinq à quarante mille volumes qui circulent dans la population et y répandent des notions sérieuses sur ce sujet capital. Je n'espère pas qu'en France l'excellent ouvrage de M. Chavasse ait autant de succès, non pas que je croie que les Françaises aiment moins leurs enfants que les Anglaises, mais malheureusement l'éducation des femmes est en France si mal conçue, qu'il est bien rare qu'elles aient le goût de la lecture, et que si on trouve partout un piano, on ne trouve nulle part une bibliothèque.

Et cependant l'autre ouvrage dont nous voulons parler, celui de M. Fonssagrives, est encore fait pour les jeunes mères; et son titre ne doit-il pas les attirer tout d'abord?

Du rôle des mères dans les maladies des enfants. — Ce rôle est non-seulement formé de dévouement et de courage à toute épreuve, il l'est aussi de finesse et de savoir : il faut non-seulement que la jeune mère ne recule ni devant la fatigue ni devant les soins minutieux et répugnants, ni même devant la contagion ; il faut encore qu'elle soit habile, adroite, avisée, capable de seconder le médecin, de suivre ses prescriptions, de veiller à leur exécution. Le combat est acharné : l'enfant pâle, haletant, les yeux creux, se débat péniblement, la mort est là, invisible, elle plane sur le berceau, c'est là que la mère doit lutter. Elle a joué sa vie en mettant l'enfant au monde ; plus heureuse que bien d'autres, elle s'est relevée vaillante et forte, et maintenant il faut qu'elle combatte pour sauver l'enfant. Une négligence peut tout perdre, une crise heureuse peut tout sauver ; malheureusement la mère ne *sait* pas ce qu'il faut faire, elle a négligé de s'instruire, elle n'a pas les premières notions médicales, elle ne sait pas observer, elle peut laisser passer des indices qui auraient mis le médecin, encore indécis, sur la voie qu'il faut suivre, pour arriver à ce suprême bonheur, à la guérison, et elle regrette amèrement son ignorance.

C'est toujours là l'ennemi, l'ignorance, combattons-le. Que non-seulement les chercheurs découvrent des faits nouveaux, mais qu'aussitôt qu'une conquête est faite, les livres, les journaux, les revues la répètent partout ; savoir est toujours une puissance, savoir soigner ceux qu'on aime est plus qu'un bonheur, c'est un devoir.

P.-P. D.

AGRICULTURE

I

LES ENGRAIS.

Enquête sur les engrais industriels, publiée par les ordres de M. le ministre de l'agriculture. 1869. — *Les engrais chimiques,* par M. G. Ville. — *Trilogie agricole,* par M. Barral. — *La doctrine des engrais chimiques,* par M. Rohart. — *Recherches sur l'emploi agricole des sels de potasse.* — *Comptes rendus de l'Académie des sciences* et *Bulletin de la Société chimique* 1867 et 1868.

Tous les cultivateurs sont d'accord pour reconnaître que la quantité d'engrais qu'ils ont à leur disposition est insuffisante; les plaintes sont unanimes, elles éclatent à chaque page de la grande enquête agricole. Il est bien évident, en effet, que le système actuellement suivi dans la plupart des pays cultivés doit amener fatalement une pénurie d'engrais. La science démontre que la matière ne se détruit ni ne se crée, elle établit que tout hectolitre de blé récolté sur un champ renferme une partie des éléments fertilisants de celui-ci; que toute tête de bétail, élevée ou engraissée sur un domaine et qui arrive à la ville y apporte une fraction des principes utiles aux plantes, primitivement contenus dans le sol de ce domaine; or, la plus grande partie des principes minéraux contenus dans ces substances alimentaires ainsi introduites dans les grands centres de population, ne retournent pas au sol dont ils proviennent; les eaux des égouts, les vidanges ne sont utilisées par l'agriculture qu'en faible quantité, elles sont jetées aux fleuves et arrivent ainsi à la mer. Celle-ci, il est vrai, nous fournit sous forme de matières alimentaires, ou sous forme d'engrais végétaux et animaux, une faible compensation; mais la terre perd infiniment plus qu'elle ne reçoit. On le conçoit

sans peine, si on se rappelle qu'en dehors du gaspillage organisé par l'homme, il existe une notable cause de déperdition dans le lavage et l'entraînement des terres arables par l'eau de la pluie qui, rassemblée en torrents, entraîne à la mer la partie meuble de nos champs, verse ainsi dans les fleuves, puis conduit jusqu'à la mer, des limons qui représentent la partie la plus riche du sol cultivé.

Un ingénieur distingué, M. Hervé Mangon, a calculé qu'une seule de nos rivières, la Durance, transporte chaque année 11 millions de mètres cubes de limon, contenant autant d'azote assimilable que 100,000 tonnes d'excellent guano, autant de carbone que pourrait en fournir par an une forêt de 49,000 hectares d'étendue[1]. Qu'on essaye, d'après les chiffres recueillis sur un seul cours d'eau, de calculer la perte que subit annuellement notre pays, et on sera effrayé.

La déperdition des principes fertilisants est donc constante, et on conçoit que des esprits éclairés se soient préoccupés de venir en aide à l'agriculture en s'efforçant de lui fournir les matières fertilisantes qui lui manquent; l'étude des travaux qui s'accumulent sur cette question est l'objet de cet article.

I

Les engrais chimiques. — Expériences de M. Boussingault, conclusions qu'il en tire. — Théorie de M. G. Ville. — Emploi des engrais chimiques dans la grande culture. — Expériences de M. G. Ville, de l'auteur, de MM. Lawes et Gilbert. — Abondance des phosphates et des sels de potasse, pénurie des sels ammoniacaux. — Les engrais chimiques ne peuvent être considérés comme la base d'un système de culture.

Au commencement de ce siècle, on ignorait la nature des substances qui sont nécessaires au développement des plantes; peu à peu cependant la lumière se fit. Les analyses de Th. de Saussure et de Berthier, les expériences de MM. Lawes et Gilbert, de M. Kuhlmann, les longues discussions que suscitèrent les opinions trop absolues de M. le baron de Liebig, les enseignements de M. Dumas, toujours justes et féconds, vinrent éclairer la

[1] *Annales du Conservatoire des arts et métiers*, 1863, t. IV.

question, et, dès 1857, M. Boussingault résumant les travaux précédents et ses propres observations, précisa dans plusieurs mémoires restés justement célèbres la composition des matières nécessaires au développement des végétaux.

Le savant professeur du Conservatoire utilisa de nouveau à cette époque une méthode qu'il avait déjà préconisée bien des années auparavant, celle de cultiver des plantes dans un sol absolument stérile, qu'on amendait avec les principes parfaitement définis dont on voulait déterminer l'influence. On donna à des héliantus développés dans du sable calciné un sel ammoniacal seulement, ou un nitrate seulement, ou encore des phosphates sans engrais azoté, puis, enfin, à la fois, des phosphates, des sels ammoniacaux et du silicate de potasse; il fut reconnu dès ce moment que c'était seulement sous l'influence de cet engrais multiple que la végétation prenait tout son essor : « Le salpêtre, dit M. Boussingault[1], associé au phosphate de chaux et au silicate de potasse, agit comme engrais complet, et les plantes venues sous l'influence de ce mélange étaient, sous le rapport de la vigueur et des dimensions, comparables à celles que l'on a récoltées sur une plate-bande de jardin fortement fumée. »

L'ancien préparateur de M. Boussingault au Conservatoire, M. G. Ville, qui s'est depuis complétement séparé de son maître, a préconisé récemment ce même procédé de recherche, et comme il néglige parfois de citer comme il conviendrait les travaux de ses devanciers, il était utile de rappeler que M. Boussingault l'avait précédé dans la carrière où il s'engage avec fracas depuis quelques années.

Il faut bien reconnaître cependant que M. G. Ville a poussé singulièrement plus loin que M. Boussingault les conséquences qu'on peut tirer des expériences précédentes ; là où le savant professeur du Conservatoire n'avait voulu voir qu'une méthode de recherche, M. G. Ville a cru trouver tout un nouveau système de culture qu'il prône avec éclat. Le lecteur en jugera.

M. G. Ville, dans ses conférences de Vincennes, met sous les yeux de son auditoire une culture de blé développée dans un sol de sable calciné, et après avoir montré, comme l'avait fait M. Bous-

[1] *Comptes rendus de l'Académie.* 1857, t. XLIV. p. 940.

singault, que, dans ces conditions, la récolte est des plus chétives, qu'elle ne s'améliore que très-médiocrement quand on amende le sol avec les principes minéraux seuls, ou quand on emploie la matière azotée sans y ajouter de minéraux, il emploie simultanément les quatre substances dont il préconise l'usage. « Cette fois[1], messieurs, on serait tenté de croire à l'intervention d'un magicien, tant le phénomène contraste avec ceux qui l'ont précédé. Tout à l'heure la végétation était languissante, précaire, étiolée ; maintenant les plantes s'élancent plutôt qu'elles ne s'élèvent, les feuilles sont d'un beau vert ; la tige droite, ferme, se termine par un épi rempli de bons grains, et la récolte atteint de 22 à 25 grammes.

« Vous le voyez, messieurs, toujours guidé par l'expérience qui est notre guide de prédilection, nous avons réussi à produire artificiellement des végétaux à l'exclusion du fumier et de toute substance inconnue. Vous conviendrez que c'est là un point considérable et fondamental. Plus de mystère, pas de force indéterminée, quelques produits chimiques d'une pureté certaine, de l'eau distillée parfaitement pure elle-même, une graine pour point de départ, et pour résultat une récolte de tous points comparable à celle qu'on obtient dans la bonne terre.

« Nous sommes donc fondés à dire que le problème de la végétation vient de recevoir là sa solution souveraine, car nous avons défini, non-seulement les conditions qui président à la production des végétaux, mais encore le degré d'importance de chacun des engrais qui y concourent. »

M. G. Ville n'a aucune hésitation ; il semble à l'entendre que la science agricole soit faite. Il ne s'en tient pas, en effet, aux expériences que nous venons de citer, non, il emploie l'*engrais* chimique, c'est-à-dire le mélange de sel ammoniacal ou de nitrate, d'un phosphate traité par l'acide sulfurique et d'un sel de potasse dans la grande culture. Il engage les cultivateurs à faire l'essai, il les entraîne, il affirme qu'ils réussiront et il appuie son opinion sur nombre de résultats heureux obtenus en employant le mélange précédent, pompeusement décoré du nom d'engrais chimique. D'après les renseignements que nous fournit M. G. Ville, nous

[1] *Engrais chimiques.* Conférences faites au champ d'expériences de Vincennes.

voyons qu'une récolte de betteraves est passée de 8,150 kilos par hectare obtenue sans engrais, à 93,000 kilos (*les Engrais chimiques*, p. 75) ; à la Guadeloupe, une terre sans engrais qui donnait 3,000 kilos de cannes à l'hectare, en a fourni 32,000 kilos sous l'influence des engrais chimiques ; dans nombre d'expériences, les récoltes obtenues à l'aide des engrais chimiques ont considérablement dépassé celles qu'on obtient avec le fumier. M. G. Ville n'enregistre que des succès ; il ne semble pas, à l'entendre, qu'il puisse y avoir de mécompte, et il est tellement certain que rien ne peut modifier sa théorie, qu'il n'hésite pas à prédire le résultat qu'on obtiendra en employant les matières fertilisantes qu'il préconise; c'est ainsi qu'il affirme que Mathieu de Dombasle, qui ne pouvait obtenir que 14 hectolitres de froment par hectare, en aurait obtenu 35 s'il avait fumé ses terres avec les engrais chimiques. En réalité rien n'est moins certain, et toutes les personnes familiarisées avec la culture savent très-bien qu'un champ ne produit pas en général une récolte double, quand on double la fumure qu'il reçoit.

Tous les raisonnements de M. G. Ville sont basés sur les expériences avantageuses qu'il cite avec complaisance. Il paraît qu'aucun de ses correspondants n'a manqué de réussir, et nous avouons naïvement que cela nous étonne; il nous paraît vraisemblable qu'il y a bien eu quelques échecs, que les résultats que nous avons obtenus nous-même à Grignon, ne sont pas uniques dans leur genre, et que d'autres que nous ont parfois été constitués en perte par l'emploi des engrais chimiques. On nous permettra donc de serrer un peu la discussion pour montrer que les choses ne sont pas aussi simples que paraît le supposer M. G. Ville. L'habile professeur du Muséum cite particulièrement les cultures de M. Cavallier, qui a obtenu des résultats dont il se déclare très-satisfait. M. Cavallier a récolté en moyenne, dans les quatre expériences sur les betteraves, qu'il a publiées, 47,700 kilos de betteraves à l'hectare, quand il a fait usage des engrais chimiques, tandis que la récolte n'était que de 27,700 kilos quand la terre n'avait pas reçu d'engrais[1]. En comptant, comme nous le faisons habituellement à Grignon, les 1,000 kilos de betteraves à 18 fr., M. Cavallier a obtenu à l'aide de l'engrais chimique une plus-

[1] *Les engrais chimiques*, p. 160.

value de betteraves représentée par 360 fr.; mais comme l'engrais chimique avait coûté 310 fr., le bénéfice dû à l'engrais est donc de 50 fr., ce qui n'a rien de bien merveilleux.

Toutefois, si modestes que soient ces résultats, ils ne sont pas toujours aussi favorables; j'ai établi à Grignon dans l'année 1867[1], une culture de betteraves sur la pièce dite des 26 arpents; le sol est de bonne qualité, et bien qu'il eût porté un blé l'année précédente, il m'a fourni sans engrais 56,700 et 55,700 kilos de betteraves par hectare; quand j'ai ajouté des engrais chimiques qui m'ont coûté 285 fr. par hectare, j'ai obtenu 60,000 kilos de betteraves. On voit que l'engrais chimique a produit un supplément de récolte de 3,300 et 4,300 kilos à l'hectare, mais que ce supplément ne vaut que 59^{fr},4 ou 77^{fr},2, et que par suite j'ai perdu 221^{fr},6 ou 203^{fr},8. En cultivant pendant l'année 1866 les betteraves avec un mélange de phospho-guano et des sels de potasse dans deux autres terres[2], j'ai encore été induit en perte, et cela d'une façon très-sensible; je crois donc pouvoir affirmer que les choses ne sont pas telles que semble le croire M. G. Ville, à savoir qu'il suffit d'augmenter la quantité d'engrais qu'on met dans le sol pour que la récolte s'accroissant forcément d'une façon régulière, on soit sûr d'être payé de l'avance qu'on a faite.

En 1866, j'ai obtenu dans deux expériences un résultat favorable de l'emploi d'un mélange de phospho-guano et de sels de potasse sur la culture des pommes de terre dans un sol; dans une autre j'ai été constitué en perte. J'ai été encore constitué en perte en 1867, en cultivant les pommes de terre avec les engrais chimiques, et j'en conclus que rien n'est moins certain que l'effet des engrais chimiques et que si parfois on en obtient de bons résultats, parfois aussi leur action est absolument nulle. En 1866 et 1867 ces engrais m'avaient donné des résultats avantageux sur le froment; j'ai doublé ma récolte qui a passé de 15 hectolitres à 30, et dans ce cas j'ai fait un bénéfice considérable. Mais, en 1868, j'ai cultivé sur une des mauvaises terres de Grignon, du froment, de l'orge et des féverolles, et nulle part l'engrais chimique n'a produit le moindre effet, la récolte est exactement la même, qu'on ait

[1] *Comptes rendus*. 1868, t. LXVI. — *Bulletin de la Société chimique*. 1868, nouvelle série, t. X, p. 91.

[2] *Comptes rendus*. — 1867, t. LXVI, p. 863 et 971.

employé les engrais chimiques ou qu'on n'en ait pas fait usage.

Il faut donc convenir que nous sommes loin d'être aussi avancés que paraît le supposer M. G. Ville, et que le système qu'il a audacieusement préconisé rencontre bien vite des obstacles dont il est difficile de triompher. J'avoue que je n'en suis nullement étonné, quand je parcours les nombreux documents accumulés par MM. Lawes et Gilbert depuis vingt ans sur le mode d'action des engrais, expériences répétées avec la plus louable constance. J'affirme que s'il y avait dans l'emploi des engrais chimiques des avantages très-marqués, les hardis fermiers anglais auraient mis ces renseignements à profit depuis longtemps. Tandis que nous ignorions en France l'existence sur notre sol des gisements de modules de phosphate de chaux, les Anglais employaient déjà avec profusion leur superphosphate sur la culture des turneps, et si le mélange préconisé par M. G. Ville avait eu les effets surprenants qu'il lui attribue, les cultivateurs anglais éclairés par les expériences faites à Rothamsted, toutes semblables à celles de Vincennes, mais faites quelque vingt ans plus tôt, l'auraient utilisé depuis longtemps.

En tenant compte des résultats signalés par M. G. Ville, et de ceux que j'ai moi-même obtenus, on peut conclure que les engrais chimiques sont d'un emploi peu certain. Ils donnent parfois des avantages notables, ils augmentent assez sensiblement la récolte pour solder la dépense qu'ils occasionnent, tandis que dans d'autres circonstances ils n'exercent aucun effet utile; il reste à préciser les conditions dans lesquelles ils devront être employés, et c'est là un travail de la plus haute importance, qui doit être fait rapidement sous peine de faire renoncer nombre de cultivateurs à l'emploi de ces engrais qui, dans quelques cas, peuvent être d'une certaine utilité.

Il est bien facile au reste de comprendre que le même engrais ne convient pas à toutes les terres; que les unes, riches en argile, retiennent mieux les engrais solubles, que les autres, formées surtout de sable, laissent tout filtrer sans rien conserver. Les cultivateurs l'ont observé depuis longtemps, et tous ceux qui ont quelque peu suivi les pratiques agricoles de notre pays, savent très-bien que la fabrication du fumier varie beaucoup avec la nature du sol qui doit le recevoir, et que si les fumiers pailleux, médiocrement consommés, conviennent très-bien dans les terres

fortes de la Brie, le fumier fait, consommé, difficile à décomposer, dans lequel l'azote est engagé dans ces combinaisons stables étudiées par M. P. Thénard, est d'un meilleur usage dans les terres légères de l'Allier.

Le système préconisé par M. G. Ville est donc incomplétement étudié ; s'il enregistre des succès, il éprouve aussi des échecs, et si quelques écrivains le proclament merveilleux, d'autres le contredisent et l'attaquent avec une violence de langage regrettable, que le ton cassant de M. G. Ville n'excuse pas toujours. On lui prête notamment l'idée qu'il est utile de substituer absolument les engrais chimiques au fumier ; mais je ne trouve pas dans les *Conférences de Vincennes* cette doctrine nettement indiquée, je vois au contraire que M. G. Ville donne souvent, outre ses engrais chimiques, une fumure de 40,000 kilos de fumier de ferme à l'hectare ; toutefois, il n'a pour l'emploi du fumier qu'une tendresse médiocre, et, dans un de ses chapitres, il cherche à établir que son emploi est plus coûteux que celui des engrais chimiques.

Il fait valoir pour soutenir cette opinion deux arguments différents : d'abord, que les terres amendées avec les engrais chimiques donnent des rendements supérieurs à ceux que fournissent les sols qui ont reçu du fumier de ferme, et ensuite que le prix de ce fumier est généralement beaucoup plus élevé qu'on ne le pense d'ordinaire.

On verra pages 75 et 76 la comparaison de quelques expériences faites avec le fumier de ferme et les engrais chimiques, toutes favorables à ces derniers; des récoltes de betteraves passent de 46,000 kilos à 50,000 chez M. le marquis de Virieu ; chez M. Leroy, de 40,000 kilos à 62,370; chez M. Cavallier, de 35,000 à 59,640 ; chez MM. Masson et Isarn, à Evreux, le rendement du froment de 19 hectolitres par hectare avec le fumier de ferme, est monté à 40 avec les engrais chimiques ; chez M. Bravay, la récolte de froment a triplé. Il ne semble pas cependant que les résultats soient toujours aussi favorables. Je trouve en effet dans les expériences faites il y a vingt-cinq ans par MM. Lawes et Gilbert à Rothamsted, des résultats que peu de personnes paraissent connaître en France, et qui sont cependant dignes du plus haut intérêt. Ils démontrent clairement que si l'auteur des « engrais chimiques » a écrit un livre populaire destiné à familiariser les cultivateurs avec l'emploi de quelques agents puissants de fer-

tilité, il a pu s'inspirer chez nos voisins d'outre-Manche auxquels il aurait peut-être pu faire allusion plus nettement, puisqu'ils l'avaient devancé de vingt ans dans la voie où il est engagé aujourd'hui.

Les expériences de MM. Lawes et Gilbert sur le froment ont duré de 1844 à 1850. Une des planches a reçu seulement des sels ammoniacaux, la récolte a varié de 16 boisseaux à l'acre à 32, en moyenne elle a été de 25; une autre planche a reçu souvent un mélange un peu plus compliqué que l'engrais chimique de M. G. Ville, mais qui rappelle sa composition ; ce mélange était formé de potasse brute, 300 livres ; soude brute, 200 livres ; sulfate de magnésie, 100 livres ; os calcinés, 200 livres ; acide sulfurique, 150 livres; enfin de 150 livres de sulfate d'ammoniaque et de 150 de sel ammoniac. Ce mélange qui renferme bien tous les éléments préconisés par M. G. Ville, azote, phosphate, potasse, chaux, a été employé dès 1848; il a donné 25 boisseaux à l'acre. Des sels ammoniacaux employés seuls en 1849 ont donné 32 boisseaux. La moyenne des résultats obtenus avec les engrais chimiques sur une troisième planche a été pour les six ans de 29 boisseaux ; pour la quatrième planche, amendée encore avec les engrais chimiques, la moyenne de six ans est de 27 boisseaux ; la cinquième planche a reçu encore des engrais chimiques, elle a donné 30 boisseaux ; enfin la planche qui a reçu le fumier de ferme a donné 28 boisseaux , en moyenne, pendant les six années qu'a duré l'expérience[1].

On trouverait dans les deux volumes publiés par les célèbres agronomes de Rothamsted nombre de faits analogues ; l'orge a été cultivé pendant six ans, de 1852 à 1857, sans engrais : la moyenne du rendement à l'acre a été de 28 boisseaux, avec du fumier elle est devenue 43, avec des engrais minéraux seulement elle est tombée à 31 boisseaux, pour remonter à 42 quand on a mêlé les sels ammoniacaux aux engrais minéraux ; ainsi, dans ce cas, les engrais chimiques ont donné le même rendement que le fumier.

Ainsi, de même que nous n'avons pas nié que dans certaines circonstances l'emploi des engrais chimiques fût avantageux,

[1] « On agricultural chemistry, especially in relation to the mineral theory of baron Liebig by Lawes and Gilbert. » (*Journal of the royal agricultural Society of England*, 1851, vol. XII, p. 1, 20, etc.)

nous ne nions pas davantage, puisque les correspondants de M. G. Ville et lui-même l'ont obtenu, que les engrais chimiques puissent *parfois* donner des récoltes supérieures à celles que donne le fumier ; mais ce que nous nions absolument, c'est que les engrais chimiques produisent *toujours* de bons effets, c'est que les engrais chimiques augmentent *toujours* la récolte plus que ne le fait le fumier.

Au reste, il suffit à M. G. Ville pour vanter son système que les engrais chimiques donnent un résultat semblable à celui du fumier, puisqu'il établit que la fumure avec les engrais chimiques est à un prix moins élevé que la fumure au fumier de ferme.

Pour soutenir ce paradoxe, qui sans doute a dû singulièrement étonner quelques-uns des lecteurs de M. G. Ville, cet habile chimiste démontre que pour donner au sol sous forme d'engrais chimique les produits utiles qui existent dans 40,000 kilos de fumier, il faut dépenser 535 fr., « ce qui porte à 13^{fr},40 la quantité d'engrais chimique pouvant tenir lieu d'une tonne de fumier qui coûte *au moins* 15 *francs.* »

15 fr. la tonne de fumier ! cela est cher, sans doute, et la chose vaut qu'on y regarde de près. Suivons donc M. G. Ville, aussi bien le spectacle ne manque pas d'agrément. Nous avons admiré tout à l'heure l'aisance avec laquelle il donnait une leçon à l'illustre Mathieu de Dombasle, et nous ne serons pas fâchés de le voir redresser son ancien maître, le savant M. Boussingault, qui s'imaginait produire à Bechelbronn son fumier à 5^{fr},20 la tonne. — Le procédé qu'emploie M. G. Ville pour tripler le prix de la tonne de fumier est très-simple. Il lui suffit de démontrer qu'en portant dans l'établissement du compte « fumier, » les aliments consommés par le bétail au *prix de revient*, on établit un compte arbitraire, mais qu'au contraire en les portant au prix de *vente habituelle*, on établit un compte réel. Il ne faut pas cependant être un grand économiste pour savoir que le prix de vente est tout à fait irrégulier : il est naturellement déterminé par l'offre et par la demande. Or, si tous les cultivateurs, suivant les conseils de M. G. Ville et reconnaissant que la fabrication du fumier est décidément onéreuse, portent à la ville leurs fourrages et leur paille, il n'est pas douteux que le marché sera encombré de ces produits, que la baisse surviendra et que le prix de vente tombera jusqu'au prix de revient ; il est donc clair que l'argument de

M. Ville n'est pas sérieux. Jamais un cultivateur ne voudra croire que le prix de la tonne de fumier est de 15 fr. quand on sait que son prix moyen à Paris est de 8 fr., bien qu'on ne l'achète pas directement aux producteurs, mais qu'on passe par des intermédiaires. Les cultivateurs ne sont pas tellement maladroits qu'ils ne s'empressent d'acquérir les fumiers de Paris à ce prix qui serait moitié du prix de revient, et leur concurrence ferait bientôt monter le prix d'achat à un chiffre beaucoup plus élevé, si, produisant le fumier à 15 fr., ils avaient encore intérêt à l'acheter à 10, 11 et 12 fr. — Le fumier de ferme ne vaut donc pas 15 fr. la tonne, il vaut 8 fr. la tonne au plus : mais alors les 40,000 kilos nécessaires pour la fumure ne valent que 320 fr., et cette fumure revient à un prix inférieur de 205 fr. à la fumure aux engrais chimiques.

Ainsi voilà deux points qu'on peut considérer comme établis : 1° les engrais chimiques sont parfois d'un effet avantageux, parfois ils n'élèvent la récolte que d'une façon insuffisante pour payer la dépense qu'ils ont occasionnée, parfois ils ne produisent aucun effet.

2° La fumure aux engrais chimiques est plus chère que la fumure à l'aide du fumier de ferme. Elle augmente parfois la récolte plus que ne le font les engrais chimiques, c'est au moins ce qui ressort des nombres cités par M. G. Ville; parfois aussi elle donne des résultats à peu près semblables, ainsi que l'ont constaté depuis longtemps les deux célèbres agriculteurs de Rothamsted.

Qu'on nous permette enfin d'aller plus loin et de rechercher si l'agriculture peut espérer rencontrer ces engrais chimiques en quantité suffisante pour subvenir à ses besoins. — Nul doute que, pendant nombre d'années, les phosphates et les sels de potasse seront mis à sa disposition avec toute la profusion désirable : les nodules de phosphate de chaux fossile sont très-abondants en France et en Angleterre et ils entrent largement aujourd'hui dans les emplois agricoles, les sels de potasse dont l'emploi est moins efficace, sont extrêmement abondants dans le gisement de Stassfurt et les salines appliquant les procédés ingénieux de M. Balard peuvent aussi en fournir des quantités considérables ; mais en sera-t-il de même des engrais azotés ?

Nous n'avons ici que deux sources bien connues, d'une part le nitrate de soude du Pérou, et de l'autre le sulfate d'ammoniaque

des usines à gaz ou du dépotoir de Paris. — Sans doute l'azotate de soude existe en abondance au Pérou, mais son gisement n'est probablement pas inépuisable puisqu'il provient d'une source qui ne se renouvelle pas, c'est-à-dire d'un dépôt d'ancien guano[1] ; remarquons de plus que l'emploi de l'azotate de soude ne peut être d'un effet certain. C'est un fait connu de toutes les personnes qui ont étudié les propriétés absorbantes de la terre arable que les nitrates ne sont pas absorbée par la terre, mais filtrent au travers avec la plus grande facilité, de telle sorte que si le nitrate est donné au sol avant une période pluvieuse, il peut être parfaitement entraîné par la pluie et ne produire aucun effet. — Le sulfate d'ammoniaque ne présente pas cet inconvénient au même degré, de plus il se transforme facilement dans le sol en carbonate qui sera retenu avec plus d'énergie, de telle façon que la déperdition de l'azote à l'état de sel ammonial est moins à craindre que celle des nitrates. Mais ces sels ammoniacaux ne sont pas très-abondants, les usines à gaz en fournissent une certaine quantité, la distillation des eaux du dépotoir peut aussi en donner, mais la preuve que la provision en était peu abondante est qu'à l'heure où nous écrivons ce sulfate d'ammoniaque fait déjà défaut chez les marchands d'engrais. Dans une note insérée récemment au *Journal d'agriculture pratique*[2], M. G. Ville, il est vrai, annonce que les lagoni de Toscane pourront augmenter ces quantités, mais ce n'est encore là qu'une espérance ; et on peut considérer comme démontré que les engrais azotés ne se trouvent pas

[1] Note de M. Tiercelin, *Bulletin de la Société chimique*. 1868, t. IX, p. 32. — M. Dumas a signalé en outre, cette année, à l'Académie, un mémoire de M. Polwer inséré au *Journal of the chimical Society*, August., 1868, au sujet de la nitrification dans l'Inde, d'où il résulte que le phénomène de la nitrification serait encore due dans ce pays à l'oxydation des matières animales.

« Les terres à nitre se trouvent près des villages anciens. Elles produisent tant qu'ils sont habités ; elles cessent de produire peu à peu quand ils sont abandonnés. Le nitre s'y forme par la dispersion des déjections autour du village ; il cesse de s'y former quand ces déjections ne se renouvellent plus. Dans les villages nouvellement construits, où on recueille les déjections, le nitre ne se manifeste plus autour des habitations. Ces déjections recueillies étant mêlées de terres alcalines ou calcaires, constituent des nitrières artificielles et donnent lieu à une exploitation de nitre. » *Comptes rendus*. 1868, t. LXVII, p. 448.

[2] 1868, t. II, n° 48, p. 680.

aujourd'hui avec la même facilité que les phosphates ou les sels alcalins. Quant à la production de toute pièce des combinaisons de l'azote par les réactions chimiques signalées par MM. Marguerite et de Sourdeval, il y a déjà plusieurs années, il me paraît douteux qu'elle donne naissance à une grande industrie.

Que reste-t-il donc de tout le bruit fait autour de cette question des engrais chimiques : cette vérité démontrée une fois de plus ; les engrais chimiques sont des *engrais complémentaires* utiles. Or, ne le savions-nous pas ? le cultivateur anglais n'emploie-t-il pas avec avantage les superphosphates, ou le cultivateur breton, les phosphates fossiles[1] ? — Et dans toutes les cultures intensives ne fait-on pas usage de guano, ou de poudrette, ou de chiffons de laine, etc..... Je pense que si dans quelque cinq ou six ans d'ici on lit encore le livre de M. G. Ville, on sera bien étonné de l'émotion qu'il a suscité. Est-ce à dire que cette émotion ait été inutile? Nous ne le pensons pas, le public a besoin qu'on lui parle haut et fort, il n'entend que ceux qui ont la voix retentissante, et si M. G. Ville n'a pas inventé grand'chose, il aura eu le mérite d'enseigner aux cultivateurs, dont beaucoup l'ignoraient, que les substances chimiques sont parfois des engrais efficaces moins avantageux sans doute que le guano, mais cependant capables de rendre, à un moment donné, d'éminents services.

[1] Voici ce qu'on trouve sur ce sujet dans l'*Enquête sur les engrais industriels*, publiée en 1865 par le ministre de l'agriculture, qui a rendu ainsi à tous les agronomes un service inappréciable, en leur permettant de suivre ces discussions nourries de renseignements puisés aux meilleures sources.

« M. Élie de Beaumont. — Dans les environs de Rennes, n'emploie-t-on pas le phosphate de nodules avec succès ?

« M Malaguti, doyen de la Faculté des sciences de Rennes. — Avec un immense succès. Je n'hésite pas à dire que la découverte du phosphate de chaux est une découverte providentielle ; car il ne faut pas se faire illusion, la source du guano n'est pas intarissable... Le succès du phosphate en Bretagne est réellement prodigieux... Pour moi, je fais tous mes efforts pour habituer les cultivateurs à mettre de préférence les phosphates fossiles dans les fumiers plutôt que directement dans les champs. » Page 896.

II

Les engrais marins. — Guano et varechs. — L'engrais humain. — Tentatives faites pour le recueillir. — Procédés de MM. Geoffroy et Château. — Essais de la Compagnie des vidanges. — Transport par wagons. — M. Gargan. — Nécessité de la séparation des vidanges et des eaux des fleuves, conférence de M. Frankland.

« On a vu plus haut que le lavage incessant des terres entraîne dans les mers tous les produits solubles qui ont fait partie des plantes ou des animaux. Il est donc naturel de considérer les plantes et les animaux de la mer comme étant destinés à réparer les pertes du sol des continents. »

Ainsi disait M. Dumas dans son remarquable rapport sur l'enquête des engrais industriels, page 37 et 38. Et, en effet, depuis longtemps déjà les cultivateurs du littoral emploient les varechs comme engrais, mais c'est là un engrais encombrant et qui s'arrête à peu de distance des côtes. Si M. Hervé Mangon a fait connaître l'exemple curieux que présente l'île de Noirmoutier, d'une culture basée sur l'emploi exclusif des varechs comme engrais[1], il est certain que dans des circonstances différentes, on ne saurait obtenir les mêmes résultats. Aussi tous les agronomes ont-ils suivi avec intérêt les tentatives faites depuis plusieurs années pour utiliser les déchets des pêcheries.

M. de Molon, le chercheur infatigable, qui a tant contribué à populariser l'emploi des phosphates fossiles, avait, il y a plusieurs années, installé une usine à Concarneau et à Terre-Neuve pour y fabriquer un engrais pulvérulent riche en azote et en phosphate ; M. Rohart exploitant de nouveau cette idée ingénieuse a récemment installé aux îles Loffoden en Norwége, une nouvelle usine destinée à fabriquer un engrais énergique avec les résidus des pêcheries. On arriverait ainsi à utiliser la matière première du guano, le poisson qui, mangé et digéré par l'oiseau, a constitué en définitive les prodigieux amas des îles Chinchas.

Les quantités de guano employées dans notre pays restent à peu près stationnaires. En 1857, nous avons importé 51 millions de kilogrammes, en 1858, 1860 et 1861 des quantités variant

[1] *Comptes rendus*, t. XLIX, p. 322. — 1859.

entre 33 millions et 40 millions, pour atteindre, en 1864, 69 millions, et retomber en 1866 à 56 millions.

Une agriculture plus attentive que la nôtre trouverait, au reste, à utiliser la masse considérable de matières organiques qu'elle laisse habituellement se décomposer dans les champs, au grand dommage de la salubrité publique. Quand un animal meurt dans une ferme, s'il n'est pas de grande taille et s'il n'est pas acheté par l'équarrisseur, il est abandonné dans un fossé, où il se putréfie ; les mouches y déposent leurs œufs, et quand, après avoir séjourné sur cet amas de chair corrompue, elles se posent sur un homme ou un animal, elles peuvent lui communiquer la terrible maladie du charbon ; il y aurait donc grand intérêt, non pas à enfouir ces cadavres, car si dans ce cas on évite les accidents, on n'utilise pas la matière fécondante que ce cadavre renferme, mais à fabriquer avec ces matières un engrais facile à transporter et à manier ; c'est là la question que s'est efforcé de résoudre M. le docteur Boucherie, qui a rendu naguère à l'art des constructions de si grands services en indiquant les procédés de conservation du bois à l'aide du sulfate de cuivre.

En faisant agir l'acide chlorhydrique à l'ébullition sur les débris d'animaux, M. Boucherie les transforme en une sorte de bouillie noirâtre acide, renfermant, outre de l'acide chlorhydrique non saturé, de l'acide phosphorique, du chlorhydrate et du phosphate d'ammoniaque, et n'exhalant aucune odeur désagréable ; cet engrais est mélangé ensuite à une faible quantité d'acide sulfurique. On sépare à la fin des opérations les matières solides, et on les laisse sécher à l'air. Les matières animales ainsi préparées présentaient une teneur en azote de 10,64 pour 100 de matière sèche ; on y reconnaissait sans peine la présence des phosphates. La matière liquide est aussi un engrais, car elle renferme des matières animales désagrégées, du chlorhydrate et du phosphate d'ammoniaque, du phosphate de chaux soluble ; on peut, au reste, y incorporer en outre une certaine quantité de poudre de nodules.

Là, toutefois n'est pas encore la solution ; elle est, à n'en pas douter, dans l'emploi des matières fécales. De nombreuses tentatives ont déjà été faites dans ce sens. On sait que la répugnance qu'elles inspirent a été vaincue, depuis de longues années, dans certains pays connus cependant par leur extrême propreté ; les

cultivateurs flamands utilisent ces engrais, et leur pays est le mieux cultivé de la France ; en Alsace, dit M. Boussingault, on volerait les matières des fosses d'aisance, si cela était possible ; dans le comté de Nice on utilise encore ces engrais et particulièrement sur les cultures des fleurs odorantes ; en Chine, enfin, leur usage est journalier, c'est presque le seul engrais qu'emploie le cultivateur qui l'administre avec un soin méticuleux ; il le mélange à une certaine quantité d'eau, puis arrose les plantes à mesure des besoins[1].

Il a été fait aux environs de Paris depuis une dizaine d'années deux essais sur une assez grande échelle, qui montrent que nous ne resterons pas toujours dans l'état stationnaire où nous sommes encore aujourd'hui quant à l'emploi des vidanges des villes. M. Moll, professeur au Conservatoire, a dirigé, pendant plusieurs années, une ferme à Vaujours, où il a utilisé sur une grande échelle les eaux venues des dépotoirs de la Villette ; son système était d'une installation coûteuse; tout le sol du domaine était traversé de tuyaux souterrains dans lesquels circulait l'engrais liquide, amené jusqu'au réservoir de la ferme, par un bateau naviguant sur un canal qui la mettait directement en relation avec le dépotoir ; les eaux élevées dans ce réservoir à l'aide d'une pompe se répandaient dans les conduits souterrains ; ceux-ci portaient de nombreux regards sur lesquels on vissait des tuyaux terminés par une lance semblable à celle dont on fait usage dans les pompes à incendie; l'engrais mêlé à une certaine quantité d'eau était ainsi répandu également sur le sol. L'expérience a prouvé qu'il devait être donné avec discernement : quand il était trop abondant il déterminait une végétation herbacée, grossière, très-aqueuse; le blé, l'herbe de la prairie versaient rapidement ; bientôt cependant on sut mieux employer ces richesses, on répandit l'engrais à l'automne, on fit des labours profonds et on obtint ainsi jusqu'à 40 hectolitres de froment à l'hectare.

Les opérations eussent été encore plus profitables si on avait pu cultiver des plantes qui exigent des quantités considérables d'engrais, telles que le lin et le tabac.

Plus récemment, M. Gargan fit construire des wagons-citernes,

[1] Voyez, dans l'*Enquête sur les engrais,* la très-intéressante communication de M. Simon, consul à Ning-Po, sur la culture chinoise.

capables de circuler sur les chemins de fer et de porter les eaux du dépotoir à quelque distance de Paris. Des réservoirs placés à proximité des gares mettaient ces engrais liquides à la portée des cultivateurs qui, dans certaines contrées, les employèrent avec bénéfice ; il semble notamment qu'en Champagne les effets aient été très-favorables.

Cette importante tentative n'a pas réussi, les tarifs des chemins de fer sont trop élevés pour permettre aujourd'hui la circulation de ces liquides encombrants, qui doivent être livrés en gare à 10 ou 12 fr. le mètre cube.

Il faut compter encore sur la répugnance extrême des ouvriers agricoles pour les manipulations désagréables qu'exige l'emploi de ces engrais liquides tels qu'ils ont été utilisés jusqu'à présent, et il est important d'examiner si on ne pourrait les amener à une forme plus maniable.

La fabrication de la poudrette est depuis longtemps condamnée, la déperdition qu'elle occasionne est considérable, et quand bien même on utiliserait toutes les eaux vannes à la fabrication du sulfate d'ammoniaque destiné à être vendu en nature, ou à rehausser la poudrette, à en augmenter la richesse, on aurait toujours, pendant la dessiccation et la longue fermentation qui s'établit dans la masse, une déperdition fâcheuse, et un procédé de désinfection efficace et facile à mettre en pratique aurait ainsi une immense valeur. Malheureusement, aucune des tentatives faites jusqu'à présent n'a encore conduit à une solution définitive ; M. Mosselmann a préconisé l'emploi de la chaux ; cette base mélangée avec les matières des fosses d'aisance, peut, en effet, les désinfecter et permettre leur emploi plus facile, mais les cultivateurs ne paraissent pas avoir trouvé grand profit à l'emploi de cet engrais.

MM. Geoffroy et Château avaient songé à précipiter l'ammoniaque produite par la décomposition des matières azotées au moyen d'un phosphate de fer et de magnésie dissous dans un acide, de façon à obtenir le phosphate ammoniaco-magnésien qui, d'après M. Boussingault, serait l'engrais le plus efficace qu'on ait jamais employé, malheureusement il ne semble pas que les réactions soient aussi nettes que les inventeurs l'avaient espéré, et la perte en phosphate qui a lieu pendant les manipulations est trop considérable pour que l'opération soit profitable. — On

a vu plus haut qu'on songeait[1] à employer l'alumine pour précipiter et englober les matières contenues dans les eaux des égouts, mais les essais ne sont pas encore assez complets pour qu'on puisse absolument se prononcer pour ce système, et devant ces difficultés il semble qu'il faille adopter franchement la solution proposée par les ingénieurs anglais : supprimer les fosses d'aisance, faire directement arriver toutes les ordures des maisons dans les égouts, et recueillir les eaux, de plus en plus abondantes, qui vont circuler dans les villes, les élever au moyen de pompes gigantesques jusqu'à une hauteur suffisante pour qu'elles puissent ensuite redescendre dans les campagnes, où elles seraient employées en irrigations. Mélangées à des quantités d'eau considérable, les matières fécales cessent d'être aussi répugnantes, et si, du même coup, on portait à nos cultures l'eau d'irrigation et l'engrais, on aurait résolu l'assainissement des villes et la prospérité de l'agriculture[2].

Nous ne croyons pas nous tromper en affirmant que c'est dans l'emploi de l'engrais des villes que gît la solution du problème agricole. C'est là qu'est la solution naturelle, c'est là qu'on trouvera une source inépuisable de richesses pour notre agriculture, et qu'on assoira sur une base solide la prospérité publique. L'histoire le démontre : tandis que tous les pays qui ont cultivé sans se soucier de rendre au sol ce que la récolte lui enlève, se sont appauvris peu à peu, se sont dépeuplés et sont aujourd'hui des déserts, ceux qui ont su utiliser l'engrais produit par l'homme restent toujours aussi fertiles ; la Chine est le pays le plus peuplé du monde depuis deux mille ans, tandis que les civilisations brillantes de l'Asie ont disparu, et que les contrées autrefois florissantes qu'arrosent le Tigre et l'Euphrate sont aujourd'hui désertes et abandonnées.

P.-P. DEHÉRAIN.

[1] *L'Assainissement des villes*, par M. Blerzy, p. 232.

[2] Voyez dans la *Revue des Cours scientifiques*, une lecture de M. Frankland sur les projets relatifs aux eaux de Londres. — Tome VI, p. 34, 1868-69.

II

L'ENQUÊTE AGRICOLE.

Ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics : Enquête agricole. — Imprimerie impériale, in-4° 1867-1868.

Pendant les années 1861 et 1862, le prix moyen du froment fut compris entre 26fr,97 et 20fr,61, et les agriculteurs ne songèrent guère à se plaindre de la suppression de l'échelle mobile et de la liberté du commerce des céréales. Mais en 1863 le prix moyen fut de 19fr,78 ; en 1864, 17fr,58 ; en 1865, 16fr,41, prix très-bas, peu rémunérateurs, et que les cultivateurs peu éclairés attribuèrent à l'absence de protection ; nous étions, disaient-ils, écrasés par la concurrence étrangère ; notre agriculture était incapable de supporter un régime semblable, c'était la ruine ! La clameur alla grandissant, le pouvoir s'en émut, et en 1866, une enquête fut décidée. La France, divisée en un certain nombre de régions, fut parcourue par des commissions qui non-seulement entendirent toutes les personnes qui voulaient bien formuler leurs plaintes, mais provoquèrent par des conversations multipliées, par la distribution de 20,000 exemplaires d'un questionnaire général, les observations des principaux cultivateurs de tous les départements.

Les commissions composées pour l'ensemble de l'empire de 1,000 à 1,100 membres, soit en moyenne de dix à douze personnes par département, fonctionnèrent dans 270 localités, c'est-à-dire non-seulement dans tous les chefs-lieux, mais dans près de 200 autres villes, et le nombre des dépositions reçues par elles fut au total de 3,500 à 4,000. — Les présidents des enquêtes locales rédigèrent des rapports volumineux en partie publiés aujourd'hui et qui forment un recueil précieux par l'ensemble des renseignements qui s'y rencontrent. Les dépositions orales y sont résumées et elles n'ont été livrées à l'impression qu'après avoir été signées par les déposants. Les réponses des questionnaires sont aussi généralement publiées à la fin des volumes. La publication

de cette deuxième série des documents de l'enquête est déjà très-avancée; les dépositions orales reçues par la commission supérieure chargée de centraliser tous les travaux et les procès-verbaux des séances de cette commission ne sont qu'en cours de publication. Ces documents formeront la première et la troisième série de l'enquête. Enfin les renseignements fournis par les agents diplomatiques sur l'état de l'agriculture étrangère seront résumés dans la quatrième série.

Ce sera là, il faut le reconnaître, un travail gigantesque et qu'une administration fortement organisée comme la nôtre pouvait seule entreprendre. — Il est à la mode aujourd'hui de revendiquer pour les citoyens une part plus large dans la direction de la chose publique, et on a raison ; on se plaint avec vivacité des entraves administratives, et on n'a pas toujours tort. Mais il faut être juste et reconnaître que si l'administration apporte souvent dans ses actes une lenteur regrettable, elle est douée d'une puissance remarquable qui peut à un moment donné accomplir une rude besogne. Je doute, par exemple, que dans un autre pays que la France, l'administration eût pu mener à bonne fin l'énorme travail qu'a nécessité l'enquête; ces durs labeurs sont des combats, ils font toujours des victimes, et le commissaire général, M. Monny de Mornay, a succombé quelques jours après avoir terminé l'impression de son rapport au ministre.

Sa perte a été vivement ressentie par tous les amis de l'agriculture, qui le 18 novembre 1868, en le conduisant à sa dernière demeure, se plaisaient à rappeler sa rare bienveillance, son désir de faire le bien, de rendre justice à chacun et d'encourager tous ceux qui s'intéressent aux progrès de l'agriculture. M. de Mornay, né en 1804, avait d'abord fait de l'agriculture à ses risques et périls sur son domaine de Mornay ; puis il vint à Paris et fut nommé inspecteur de l'agriculture en 1841, en 1846, il devint sous-directeur, et en 1848, il contribua puissamment, comme directeur de l'agriculture, à la fondation de l'enseignement agricole qui honora la république. La création de l'institut agronomique de Versailles était son œuvre, et bien qu'une mesure déplorable ait en 1852 détruit cette institution qui aurait pu devenir si féconde, elle dura assez longtemps pour avoir laissé une trace ineffaçable et inspiré à tous les amis de l'agriculture le désir de la voir renaître. — Si M. de Mornay se vit dans la cruelle nécessité de

détruire de ses mains son œuvre de prédilection, l'Institut agronomique, il eut du moins le bonheur de voir une autre de ses créations, celle des primes d'honneur, imprimer une puissante impulsion au progrès agricole.

M. de Mornay n'avait que soixante-quatre ans au moment de sa mort et on pouvait espérer le conserver longtemps encore à la place qu'il occupait avec tant d'éclat; il est mort comme un vaillant soldat, à son poste, et au moment où la sagesse de ses appréciations se montrait dans tout son jour dans cet excellent rapport au ministre, que nous allons analyser et où se dévoilent à chaque instant l'honnêteté, la franchise qui atteignent leur but, aussi bien en s'enveloppant dans les formes adoucies du gentilhomme que dans l'âpreté du tribun.

A la mort de M. de Mornay, M. Lefèbre de Sainte-Marie, le doyen des inspecteurs généraux, qui a tant contribué à répandre en France les beaux animaux de la race de Durham, a été nommé directeur de l'agriculture et commissaire général de l'enquête, et M. Porlier, chef du bureau des encouragements, dont le rôle auprès de M. de Mornay était depuis bien des années des plus actifs, est devenu sous-directeur. Les intérêts de l'agriculture sont donc en bonne main, et on peut être assuré que la publication importante des documents précieux de l'enquête sera continuée rapidement.

Le premier point qu'ait abordé dans son rapport M. de Mornay, commissaire général, est relatif à l'état actuel de la propriété territoriale. Un premier fait qui ressort nettement de tous les renseignements recueillis dans les départements, est la diminution de la grande et de la moyenne propriété au bénéfice de la petite. Non-seulement il faut attribuer ce résultat aux acquisitions parcellaires de la petite propriété, mais aussi au partage à chaque mutation entre les ayants droit à la succession.

Cette pratique, très-ancienne en France, est souvent de nature à nuire étrangement aux progrès agricoles. Il est certain qu'un propriétaire ayant à cultiver un certain nombre de parcelles éloignées les unes des autres, dépense beaucoup de temps et d'argent inutilement, et il y aurait grand avantage pour lui à les réunir. Le seul palliatif qu'indiquent les déposants consisterait à diminuer les droits écrasants que perçoit l'État au moment des mutations, quand celle-ci se ferait par échange. Cette question a déjà été

examinée par la commission supérieure, envoyée à un rapporteur, et prise en très-sérieuse considération[1].

Que l'agriculture n'ait pas en général un fonds de roulement suffisant, cela est parfaitement certain. Mais d'étranges utopies se sont fait jour dans l'enquête au sujet de la possibilité d'augmenter ce capital d'exploitation. L'idée de la fondation d'une banque prêtant directement au cultivateur à un prix plus bas qu'à un autre citoyen, industriel ou commerçant, est parfaitement chimérique ; le taux de l'escompte est toujours basé sur une règle unique, la quantité d'argent disponible et la quantité d'argent demandé, et il importe peu au prêteur qui trouve des garanties suffisantes que l'emprunteur exerce une profession ou une autre. On ajoute même que les agriculteurs n'ont pas en général, pour l'exactitude des remboursements, le respect qu'on doit attendre de négociants sérieux. — Nous ne croyons pas que l'État ait à intervenir dans des fondations de crédit spécialement agricole : il existe déjà dans nombre de départements des banques privées où les cultivateurs ont des comptes courants. Il ressort des études de M. Wolowski qu'en Angleterre et en Écosse, des banques privées, associées les unes aux autres existent en assez grand nombre et étendent leurs *branches* dans tout le pays; mais on ne voit pas que le taux de l'intérêt y soit différent de ce qu'il est ailleurs. Toutefois, si on ne peut ainsi augmenter d'un coup de baguette le capital agricole, s'il faut, pour y arriver, les longues privations, mères de l'épargne, il est un point important qu'il est sans doute possible de modifier avantageusement pour l'agriculteur : c'est d'écrire dans la loi qu'il aura la faculté d'emprunter sur son matériel agricole, sans être obligé comme le veut notre législation actuelle, « de mettre le gage dans la possession du créancier ou d'un tiers convenu entre les parties. »

Déjà longtemps avant l'enquête s'était manifesté un fait qu'elle n'a fait que confirmer de la façon la plus positive : la diminution du nombre des travailleurs agricoles ; il devient de plus en plus difficile de trouver pour le travail de la terre, des bras en quantité suffisante, le prix de la main-d'œuvre a dû subir par suite une importante augmentation; les ouvriers enfin, devenus de plus en plus exigeants, non-seulement pour leurs salaires, mais aussi

[1] *La Culture*. 1er janvier 1869.

pour les autres conditions du louage de leurs services dans les exploitations rurales, ont avec ceux qui les emploient en général des rapports plus difficiles que par le passé.

Les causes de cet état de choses sont nombreuses. Notre population n'augmente plus avec rapidité comme autrefois, il nous faut 180 ans pour que le chiffre des habitants de notre pays soit doublé, et à ce point de vue nous sommes au dernier rang en Europe[1]. Dans beaucoup de nos départements les familles sont moins nombreuses qu'autrefois; de plus l'émigration dans les villes s'est faite sur une large échelle, tous les grands centres de population marchent sur les traces de Paris, entreprennent d'importants travaux, et de nombreux ouvriers attirés par les hauts salaires, par les plaisirs faciles, quittent la vie saine et fortifiante des champs, pour n'y plus revenir; enfin un contingent de 100,000 hommes est lourd à porter pour notre pays, et le soldat qui a vécu pendant cinq, six ou sept ans dans les villes, de cette vie fainéante des garnisons, recule devant les rudes labeurs des champs, il essaye et réussit souvent à se placer comme domestique, comme employé, il reste à la ville. Ce sont là des faits que le rapport de M. de Mornay signale sans faiblesse, mais qu'il ne dépend pas d'une commission agricole ou même du Corps législatif de faire cesser entièrement, bien que celui-ci puisse intervenir efficacement dans la fixation du chiffre du contingent.

L'emploi des machines agricoles peut jusqu'à un certain point compenser le défaut des bras, bien que la machine à battre soit jusqu'à présent le seul engin relativement nouveau qui soit définitivement entré dans la pratique et que les moissonneuses ne soient pas encore d'un emploi général.

Il faut reconnaître cependant que si la diminution des ouvriers agricoles est un danger qu'on doit s'efforcer de prévenir, l'augmentation des salaires que perçoivent ceux qui restent n'est pas due exclusivement à leur petit nombre. Nous verrons plus loin que la terre rapporte plus aujourd'hui qu'autrefois et que par suite le prix de la main-d'œuvre s'est naturellement élevé. Cet accroissement, au reste, est général en Europe, il est signalé aussi bien en Belgique qu'en Allemagne; en Suisse, en Suède, qu'en Angle-

[1] Voyez, dans l'*Annuaire de* 1868, l'article de M. le docteur Trélat, *Du mouvement de la population en France.*

terre ; en Portugal qu'en Italie, et la masse énorme de métaux précieux qu'a jetée dans la circulation les mines de Californie et d'Australie a aussi sa part dans ce résultat général.

Si l'administration ne peut souvent qu'enregistrer les faits sans en changer le cours, son intervention est singulièrement plus efficace dans le règlement des associations temporaires, réunies pour atteindre un but déterminé, notamment dans la formation des syndicats que forment les propriétaires pour exécuter les travaux d'irrigation ou de drainage. Aujourd'hui il ne peut exister que des associations libres dans lesquelles les résolutions, pour être valables, doivent être prises à l'unanimité, et il suffit souvent d'un seul propriétaire récalcitrant pour empêcher des travaux utiles. L'enquête démontre que ce fâcheux état de choses pourrait être heureusement modifié, par la création d'associations autorisées par l'administration, qui bien différentes des associations libres peuvent prendre des résolutions à la simple majorité ; cette question a été examinée sérieusement par la commission supérieure et renvoyée à l'étude d'une sous-commission. Les travaux de drainage n'ont pas en général, pour notre pays, la même importance que ceux d'irrigation, mais il est vraisemblable que la formation de syndicats fonctionnant comme ceux des irrigations rendrait aussi de véritables services.

Des plaintes assez nombreuses se sont fait entendre pendant l'enquête sur les prix élevés des tarifs des compagnies de chemins de fer pour le transport des engrais; ces prix sont notamment excessifs sur le chemin de fer de ceinture et peuvent entraver dans une certaine mesure la circulation des matières fécondantes [1].

Une question digne d'intérêt a été encore soulevée pendant l'enquête à propos du commerce des engrais. Aujourd'hui le propriétaire est créancier privilégié du fermier qui se trouve dans l'impossibilité de payer ; il peut faire saisir la récolte de l'année et le matériel des exploitations rurales, il doit être soldé avant les autres créanciers, toutefois on accorde encore un certain privilége aux marchands de semences, et dans plusieurs départements, on a demandé qu'à ce privilége vînt se joindre celui du marchand

[1] Voyez l'article précédent ; l'exploitation des eaux vannes du dépotoir de Paris, au moyen des wagons-citernes de M. Gargan a été abandonnée par suite des prix trop élevés du transport.

d'engrais. « On pense que cette mesure, en donnant plus de sécurité au commerce des engrais, aurait pour effet de le fortifier en y attirant des capitaux et de lui permettre ainsi de rendre à l'agriculture de plus grands services. »

Le cinquième chapitre du rapport de M. de Mornay est un véritable exposé de la situation agricole de l'Europe, et il constate d'abord « que les progrès de l'agriculture ont été extrêmement considérables, depuis une trentaine d'années, aussi bien en France qu'à l'étranger. » En suivant pas à pas le rapport, on constate d'abord que nous élevons plus de gros bétail qu'autrefois, il est aussi mieux nourri, et les reproducteurs, mieux choisis, ont singulièrement amélioré les races ; en revanche les moutons ont plutôt diminué en nombre ; l'exportation des produits provenant des animaux (beurre, fromages, volaille et gibier, œufs) s'est accrue depuis dix ans d'une façon incroyable, elle est passée de 27 millions qu'elle atteignait en 1856, à 125 millions en 1866.

Nous cultivons mieux les céréales que jadis, et nous y consacrons plus de terrains. De 1827 à 1836, le nombre d'hectares emblavés en céréales était en moyenne de 13,900,000, il est maintenant de 15 millions ; de plus tous les rendements se sont élevés ; de 1827 à 1837, nous récoltions en moyenne à l'hectare $12^{hect},30$, de froment, tandis que de 1857 à 1866 nous en avons récolté $14^{hect},60$: la différence est analogue pour les autres cultures. On a remarqué en outre, que le poids de l'hectolitre de froment s'était aussi accru, il a passé de $75^{k},23$ à $76^{k},27$. Parmi les cultures industrielles, celles de la betterave et celle de la vigne sont en voie d'accroissement; les autres sont à peu près stationnaires. Le colza recule devant les huiles minérales, et le chanvre et le lin luttent sans avantage marqué contre le coton. La culture des arbres à fruits est au contraire en voie de progrès constant : en 1856, nous exportions des fruits pour 14 millions, aujourd'hui cette exportation atteint 17 millions.

En Angleterre l'élevage est toujours l'industrie agricole la plus avantageuse, et des terres autrefois cultivées en blé ont aujourd'hui remises en prairies. Avec la liberté des échanges, les spéculations agricoles se spécialisent, et on arrive à faire seulement ce qu'on fait bien ; en Écosse on élève aussi beaucoup, on dispose de beaucoup de fumier et la moyenne du rendement du froment à l'hec-

tare est de 20 hectolitres, bien supérieure par conséquent à la moyenne de la France.

On signale un progrès remarquable dans la culture, en Allemagne, en Suède, en Danemark; en Russie, au contraire, le progrès est peu sensible, toutefois la production du sucre et celle des alcools de grains s'est singulièrement accrue. — En Portugal, le progrès est peu sensible, le vin reste la principale denrée d'exportation, depuis que les orangers ont presque tous disparu; la culture de l'olivier, celle du chêne-liége y sont importantes. L'absence de routes qui s'enfonçant dans le pays pour y chercher les produits et les amener au chemin de fer qui relie Lisbonne à Porto restera encore pendant des années un obstacle absolu au développement agricole du pays.

La malheureuse Espagne n'est en progrès à aucun point de vue; après la France c'est la contrée qui produit le plus de vin, mais à part les vins secs et sucrés de l'Andalousie et des autres provinces méridionales, les vins ne sont pas d'une qualité telle, qu'ils puissent alimenter le commerce d'exportation.

Il n'est pas une industrie qui profite autant du bon état des voies de communication que l'agriculture, dont les produits encombrants et de valeur médiocre sont bien vite immobilisés par une mauvaise stabilité, aussi la question des chemins vicinaux est-elle toujours en France à l'ordre du jour, et cela est nécessaire, car sur une étendue totale de 354,000 kilomètres, 118,000 seulement sont à l'état d'entretien, les travaux ont été commencés sur 68,000, kilomètres et 168,000 sont encore à l'état de sol naturel. Les journaux politiques se sont occupés à différentes reprises de l'examen de la lettre adressée par l'empereur à M. le ministre de l'intérieur sur l'achèvement du réseau, et nous n'avons pas à y revenir.

Les questions des canaux et celle des chemins de fer ont de même été traitées assez souvent dans la presse périodique pour qu'il ne soit pas nécessaire de nous en occuper ici. Nous avons déjà, au reste, entretenu plusieurs fois le lecteur de divers projets d'emploi des locomotives sur les routes ordinaires, et nous passerions ce chapitre sous silence s'il n'était important d'enregistrer les progrès remarquables accomplis depuis sept ans dans la construction de nos voies ferrées. L'*Annuaire de* 1862 fixe la longueur totale exploitée au 31 décembre 1861 à 9,891 kilomètres,

elle était au 31 décembre 1866 de 14,514 kilomètres, et au 31 décembre 1867, elle devait être de 15,750 kilomètres; ainsi en six ans, l'augmentation a été de 5,771 kilomètres. Les compagnies ont déjà dépensé, pour faire nos chemins de fer, 6,528 millions de francs, elles doivent dépenser encore 1,354 millions de francs; le montant des subventions de l'État atteindra près de 2 milliards.

La France cependant est loin d'être placée au premier rang pour le développement des voies de communication; tout le Royaume-Uni est pourvu de chemins de fer et de routes; en Belgique le réseau est également terminé; la Hollande a ses canaux; mais en Allemagne, bien que les chemins de fer soient nombreux, il reste encore beaucoup à faire; en Russie, la viabilité n'a pas fait de progrès sensibles, la neige qui reste sur le sol pendant cinq ou six mois offre pour le trainage, le plus facile des moyens de transport; mais dans le Midi surtout, l'absence de routes constitue un obstacle sérieux aux relations commerciales.

Nous atteignons avec le chapitre VII du rapport de M. de Mornay la question des douanes qui a provoqué l'enquête. On sait que la loi du 15 juin 1861 a fait disparaître la législation compliquée de l'échelle mobile; aujourd'hui le droit d'importation est de 50 centimes par quintal métrique, soit 60 centimes avec les décimes pour le froment en grains introduit par navires ou par terre (la surtaxe de pavillon cesse en mai 1869). — L'exportation est complétement libre, et l'agriculture jouit ainsi du grand avantage de ne trouver dans la loi aucune entrave à l'écoulement de ses produits vers les marchés où elle peut les vendre aux meilleures conditions. Il est facile, au reste, quand on examine les chiffres du commerce des céréales, de reconnaître que, bien qu'il soit important, il n'est pas de nature à agir efficacement sur nos prix; notre consommation atteint en moyenne 100 millions d'hectolitres, et notre commerce porte au plus sur un dixième de cette quantité; ce sont les prix déterminés par l'abondance de la récolte qui déterminent au contraire le mouvement d'importation ou d'exportation, ainsi qu'il résulte du tableau suivant :

ANNÉES.	PRIX MOYEN DE L'HECTOLITRE.	IMPORTATION EN QUINTAUX MÉTRIQUES.	EXPORTATION EN QUINTAUX MÉTRIQUES.
1861	26 fr. 00	9,857,824	210,896
1862	23 24	4,713,002	430,762
1863	19 78	851,681	619,720
1864	17 58	609,513	1,565,258
1865	16 41	265,617	3,582,833
1866	19 61	627,553	5,803,550

En 1867, le prix se relève, il atteint 28^fr^,46. Au mois de novembre, l'importation augmente et l'exportation diminue; mais il suffit de voir les chiffres précédents pour être convaincu que, si en 1865 le prix du blé est tombé à 16^fr^,41, ce ne sont pas les 265,000 quintaux métriques importés, dépassés prodigieusement par les 3,582,000 quintaux exportés, qui ont pu avoir une influence sensible sur sa dépression.

Cette liberté des céréales et le régime des acquits à caution a eu aussi pour effet de favoriser l'industrie de la mouture; toutefois, des plaintes assez vives se sont produites sur le trafic de ces acquits à caution, sans qu'il ait été prouvé cependant qu'ils fissent un tort réel à notre agriculture.

Le temps n'est plus où le maréchal Bugeaud pouvait dire à la tribune qu'il préférait une invasion de Cosaques à une invasion de bétail étranger. Pendant ces quinze dernières années, nous avons importé plus de bétail que nous n'en avons exporté, et cependant l'agriculture française n'a certainement pas souffert de ce fait, la consommation de la viande s'est, depuis un certain nombre d'années, singulièrement accrue, et les prix se sont beaucoup élevés.

Des plaintes assez vives se sont produites dans l'enquête relativement aux conditions dans lesquelles notre législation douanière place les vins français par rapport aux vins étrangers. Ainsi les vins français payent à l'entrée, en Angleterre, 27^fr^,51 par hectolitre quand ils renferment moins de 26 p. 100 d'alcool, et 68^fr^,76 quand ils en renferment moins de 42

p. 100 ; à l'entrée, en Belgique, ils payent en cercles 23 fr. l'hectolitre, en bouteilles 24 fr. ; à l'entrée, dans le Zollverein et en Autriche, 30 fr. les 100 kilogrammes ; la douane de Russie prélève $3^{fr},60$ par bouteille de vin mousseux, et $1^{fr},20$ par bouteille de vin non mousseux, et $51^{fr},28$ par 100 kilogrammes pour les vins en cercle ; il est évident qu'il faut réclamer énergiquement en faveur d'un abaissement de ces tarifs.

Malgré ces mauvaises conditions, l'exportation de nos vins français s'est constamment accrue, tandis que l'importation a diminué, ainsi qu'on le verra d'après le tableau suivant :

IMPORTATION DES VINS ÉTRANGERS ET EXPORTATION DES VINS FRANÇAIS DEPUIS 1861.

ANNÉES.	IMPORTATION DES VINS ÉTRANGERS.	EXPORTATION DES VINS FRANÇAIS.
	Hectolitres.	Hectolitres.
1861	251,744	1,857,707
1862	121,318	1,993,911
1863	103,869	2,084,456
1864	120,086	2,336,137
1865	99,622	2,868,398
1866	85,879	3,274,094

Des plaintes se sont aussi élevées sur l'abaissement des droits d'entrée des alcools étrangers, notamment de ceux de Prusse, qui reçoivent de leur gouvernement une prime de sortie de 15 fr. par hectolitre équivalant au droit d'entrée en France ; toutefois notre exportation dépasse de beaucoup aujourd'hui notre importation ; en 1861, il était entré 184,000 hectolitres, et sorti 164,000 hectolitres ; en 1866, il est entré 64,000 hectolitres, et il en est sorti 362,000.

Il n'en est pas de même du commerce des laines, l'importation surpasse de beaucoup l'exportation.

L'enquête examine ensuite les relations que nous avons avec les différents pays ; nous fournissons à l'Angleterre une masse énorme

de produits agricoles, des grains et des farines, du bétail (183,146 têtes en 1866 contre 38,055 en 1858); du vin (43,998 hectolitres en 1858 et 211,992 hectolitres en 1866); du sucre brut et raffiné, et en 1866 pour près de 100 millions de francs de beurre, d'œufs, de fromages et de fruits de table ; elle ne nous adresse en retour que des laines. La Belgique, la Hollande, l'Allemagne nous en adressent également en retour de nos vins; nous ne vendons pas grand'chose à la Russie, qui nous envoie au contraire du froment et des laines ; en 1865, nous avons reçu 1,194,241 quintaux de blé, dont il n'est resté dans la consommation française que 247,732 quintaux; le reste a été réexporté sous forme de farine; en 1866, nous avons encore reçu 1,671,100 quintaux dont 366,900 seulement sont restés dans la consommation française.

Les relations commerciales de la France avec le Portugal sont médiocrement étendues, c'est un pays pauvre encore dont les besoins sont restreints, et le grand effort qui a été fait en 1865 au moment de l'Exposition internationale de Porto, n'a pas donné tous les résultats qu'on en pouvait espérer. Notre commerce de produits agricoles avec l'Espagne est aussi médiocre, nous lui vendons un peu de bétail et elle nous retourne des vins et de la laine.

Après avoir ainsi résumé l'étendue de nos relations commerciales avec les différents pays, en tant qu'elles touchent au produits agricoles, le rapport du commissaire général s'occupe des charges de la propriété.

L'impôt foncier est aujourd'hui moins lourd qu'il n'était autrefois. L'Assemblée nationale qui héritait des traditions de l'ancien régime l'avait établi à 300 millions de francs, et en 1791, d'après la moyenne des appréciations, le revenu foncier ne pouvait être estimé au-dessus de 1,240 millions, la contribution foncière s'élevait à 18 p. 100 du revenu, en principal et à 22 p. 100 en y ajoutant les centimes additionnels ; aujourd'hui l'impôt foncier portant sur les propriétés non bâties est de 121 millions, et sur les propriétés bâties de 48 millions environ. C'est donc 169 millions au principal ; en y ajoutant les centimes additionnels que s'imposent les villes et les communes, il monte encore à peu près à 300 millions, mais on estime que le revenu, de la propriété foncière atteint 3,216 millions. Il n'est donc plus que de 10 p. 100 du revenu, ce qui est considérable, mais n'est plus écrasant.

Le rapport passe rapidement sur le droit excessif qui frappe les sucres, et le tableau des quantités fabriquées présente une anomalie qui pourrait donner naissance à une singulière erreur. C'est en 1860 que le droit a été abaissé de 45 fr. à 25 fr., et c'est pendant la campagne 1860-61 que le produit fabriqué a été moindre, il est tombé de 126 millions de kilos fabriqués en 1859-60 à 100 millions, pour se relever à 146 millions en 1861-62, quand le droit lui-même est monté à 42 fr. Mais il ne faudrait pas en tirer cette conclusion que le dégrèvement a retardé la fabrication ; tous les agriculteurs se rappellent l'année déplorable de 1860, année extraordinairement froide et pluvieuse durant laquelle toutes les récoltes ont été compromises. La moisson n'a été finie dans le nord de la France qu'en octobre; la betterave a été difficile à traiter et a très-peu rendu, de là le faible chiffre de la quantité fabriquée.

Malgré les charges qu'elle supporte, cette brillante industrie fait chaque jour de nouveaux progrès ; nous n'avions en France en 1855 que 273 fabriques en activité, au 31 décembre 1867 on en comptait 438 ; les appareils se sont singulièrement perfectionnés, et les quantités fabriquées atteignirent, pendant la campagne 1865-66, 265 millions de kilogrammes. Il serait évidemment d'une bonne politique de diminuer le droit excessif qui frappe la consommation du sucre, droit qui compte au budget de 1868 pour 58 millions de francs; les quantités consommées en France sont environ de 289 millions de kilos, la France compte 38 millions d'habitants, ce n'est donc que 7 kilos de sucre par tête. Cette quantité est extrêmement faible par rapport à celle de l'Angleterre qui atteignait récemment 15^{k},34 par tête, même quand on comprenait dans cette moyenne l'Irlande qui consomme très-peu. Il est certain que si on abaissait le droit, la consommation s'activerait singulièrement et que bientôt le Trésor pourrait percevoir une somme aussi forte que celle qu'il obtient aujourd'hui en écrasant la production. C'est précisément ce qui a eu lieu en Angleterre ; la consommation était de 265 millions de kilos en 1845, au moment où le chiffre de l'impôt était de 81 fr. les 100 kilogrammes; elle est montée en quelques années, quand l'impôt a été réduit à 34 fr., à 431 millions (1858) et elle a atteint 590 millions ou 20 kilos par tête en 1867.

Les droits sur les alcools destinés à la consommation sont con-

sidérables, mais on ne saurait les diminuer; quel que soit l'intérêt qu'il prenne à la distillation de la betterave et aux progrès agricoles dont elle est la cause, le législateur doit avoir devant les yeux le tableau déplorable des ravages qu'occasionne l'usage exagéré des boissons alcooliques. Il faut reconnaître, au reste, que les déposants devant les commissions d'enquête n'ont pas attaqué l'impôt de consommation, mais ont cru qu'il était important pour eux d'obtenir un dégrèvement pour les alcools destinés au vinage, pour les alcools ajoutés aux vins difficiles à conserver sans cette addition ; il faut remarquer, avant d'admettre cette réclamation que la franchise existe pour le vinage des vins destinés à l'exportation, et que quant aux vins consommés en France, cette pratique n'est pas à recommander. La question des droits à percevoir sur les vins est toute différente. Le vin n'est plus une boisson dont l'usage soit pernicieux, et si on a quelque espérance de voir diminuer la consommation de l'eau-de-vie, c'est précisément en favorisant celle du vin. Or, le droit d'octroi, dans les grandes villes et notamment à Paris, où il atteint pour les vins en cercles 10 fr. par hectolitre, est excessif; il égale parfois la valeur même du produit, car nos vins du Midi n'ont souvent qu'une valeur de 10 fr. l'hectolitre, on comprend, au reste, que l'établissement d'un droit *ad valorem* soit difficile, à cause des contestations auxquelles donneraient lieu les dégustations, et il semblerait plus simple d'abaisser le droit uniformément, sans se laisser ébranler par cette objection spécieuse « qu'en rendant dans les villes la vie moins coûteuse, on donnerait un nouvel attrait aux centres, et on accroîtrait ainsi, par voie indirecte, la pénurie de bras dont on se plaint partout dans les campagnes. » Il n'est pas douteux, en effet, que si les villes cessaient les entreprises hors de toutes proportions avec leurs ressources qu'elles poursuivent depuis plusieurs années, si elles ne donnaient pas ainsi artificiellement aux ouvriers un travail rémunérateur, la désertion des campagnes s'arrêterait, parce qu'on y trouverait le travail qui ferait défaut à la ville.

Le commissaire général de l'enquête a conservé pour le dernier chapitre de son travail la question si importante de l'enseignement agricole. Des vœux assez nombreux se sont produits en vue de son extension.

« L'enseignement professionnel de l'agriculture tel qu'il était

organisé par la loi du 3 octobre 1848, comprenait : au premier degré, les fermes-écoles, où l'on reçoit une instruction élémentaire pratique ; au deuxième degré, des écoles régionales où l'instruction est à la fois théorique et pratique ; au troisième degré, un Institut national agronomique, qui devait être l'école normale supérieure d'agriculture.

On sait que l'Institut agronomique fut supprimé après le coup d'État du 2 décembre. Depuis cette mesure à jamais déplorable, l'enseignement supérieur de l'agriculture n'est plus représenté que par quelques-unes des chaires du Conservatoire des arts et métiers ; l'enseignement secondaire a été maintenu, il est donné aujourd'hui dans trois écoles, Grignon, Grand-Jouan et la Saulsaie ; enfin, le nombre des fermes-écoles s'élève à 48.— Il est certain que les trois écoles régionales ne répondent que très-incomplétement à leur nom ; l'une, celle de Grignon, la plus ancienne, la plus célèbre, représente d'une façon satisfaisante la région du Nord, mais l'école du Sud-Ouest devrait être, non pas à Grand-Jouan, mais bien dans la région de la vigne, aux environs de Bordeaux ; enfin, la Saulsaie n'a aucune raison d'être : située sur un plateau élevé du département de l'Ain, là où la culture de la vigne est déjà impossible, elle ne peut que suivre de loin la culture du nord de la France. La Saulsaie devrait être supprimée, et la troisième école installée en pleine région méditerranéenne, dans le pays de la vigne, de l'olivier, du mûrier. Si utiles que soient ces changements, ils n'auraient pas cependant l'intérêt capital que présenterait le rétablissement de l'Institut agronomique, ou mieux la fondation de l'École normale supérieure d'agriculture. Cette question a été étudiée avec soin au moment de l'enquête, et une commission, présidée par M. Dumas, après mûre délibération, s'est prononcée dans le sens de cette fondation ; M. Tisserand, directeur des établissements agricoles de la couronne, a été chargé de faire le rapport qu'il nous reste à examiner.

« L'utilité d'un enseignement supérieur de l'agriculture dit l'éminent rapporteur, ne fait l'objet d'aucn doute pour les membres de la commission, et cette opinion est partagée par la grande majorité des cultivateurs. La grande enquête que le gouvernement de l'empereur a fait faire dans toutes les parties de la France le démontre surabondamment ; les vœux de la presse agricole sont aussi unanimes dans ce sens. En effet, les immenses

services que les sciences ont rendus à toutes les industries sont évidents. »

Plusieurs d'entre elles ont été profondément modifiées par les procédés nouveaux que la science y a introduits ; l'art de la teinture, l'éclairage, ont reçu de la chimie une aide puissante, la physique a créé une branche nouvelle de télégraphie, la mécanique a permis de substituer les machines aux animaux, et pour peu qu'on étudie l'histoire de ces industries nouvelles qui ajoutent si puissamment à notre bien-être, on reconnaît qu'elles dérivent de travaux scientifiques d'abord complétement désintéressés de toute idée d'application. — Si les sciences physiques et chimiques ont ainsi rapidement progressé, tellement que tous les arts qui s'y rattachent sont en pleine prospérité, il n'en est pas de même des sciences naturelles ; aussi les industries qu'elles devraient éclairer sont-elles à chaque instant le théâtre de terribles désastres; les végétaux ou les animaux qu'exploite l'industrie agricole sont atteints de maladies qui les font périr en grand nombre ; les vers à soie ont leur épidémie comme les bêtes à cornes ; les pommes de terre ont été atteintes comme la vigne. Nous exploitons des êtres dont les fonctions nous sont mal connues, et que nous ne pouvons ni prévenir contre le mal, ni soustraire à ses atteintes lorsqu'il est arrivé.

La physiologie végétale et animale, qui devrait nous guider dans toutes les difficultés que nous rencontrons dans l'exploitatión des végétaux et des animaux, naît à peine, et si on ne crée pas un nouvel établissement qui les vivifie en les rapprochant de la pratique, il est à craindre qu'elle n'avance que péniblement, laissant encore pendant des années sans solution toutes les questions qu'elle doit éclairer, et cela au détriment de l'industrie agricole. Il n'est douteux pour personne que la physique et la chimie sont aujourd'hui cultivées avec infiniment plus de succès que les sciences naturelles ; et cela non-seulement parce que les personnes qui sont engagées dans la poursuite de ces sciences peuvent trouver à vivre, soit en les enseignant, soit en mettant leurs connaissances à profit dans les établissements industriels, mais aussi parce qu'il existe plusieurs grands établissements où l'étude de ces sciences est constante ; à l'École polytechnique, à l'École centrale des arts et manufactures, à l'École des mines, à l'École normale, toutes les questions de chimie et de physique

pures et appliquées sont sans cesse discutées, reprises, tournées de mille façons. L'histoire naturelle n'a rien de comparable. Les naturalistes de profession, enfin, n'ont aucune carrière ouverte devant eux, il n'est guère d'industries dans lesquelles ils puissent utiliser leurs connaissances, et de plus l'enseignement de l'histoire naturelle est singulièrement négligé en France, surtout depuis que cette science ne fait plus partie du programme du baccalauréat et qu'il n'existe aucune école où elle soit particulièrement étudiée.

La fondation d'un établissement destiné à l'enseignement supérieur de l'agriculture aurait cet immense avantage de remetttre les sciences naturelles en honneur, de répandre les connaissances précises qu'elles possèdent et certainement de hâter leurs progrès; la formation d'un corps savant s'occupant spécialement de toutes les questions agricoles aurait pour effet de les mener rapidement vers la solution. Il n'y a pas, au reste, que l'histoire naturelle qui profiterait de cette fondation; l'économie politique trouverait aussi à s'y exercer, et bientôt les saines notions répandues dans le pays le mettraient à l'abri d'une émotion semblable à celle de 1865, où il attribua la baisse des céréales à la suppression des droits de douanes, tandis qu'il n'y fallait voir que l'effet naturel de l'abondance de plusieurs récoltes successives.

La fondation d'une école supérieure d'agriculture aurait, à n'en pas douter, pour effet de faire progresser rapidement toutes les sciences qui touchent à l'agriculture, en engageant un plus grand nombre de jeunes gens à les cultiver ; elle ouvrirait aussi plus largement une carrière dans laquelle on ne pénètre aujourd'hui qu'avec toutes sortes de difficultés, et sans une instruction suffisamment solide. Notre jeunesse dorée, au sortir du collége, embrasse la carrière des armes, c'est là son métier de prédilection, et elle fait bien de le prendre. Elle va encore à l'école de droit, et c'est tout; il est rare qu'elle s'engage résolûment dans la carrière agricole, ou si elle y arrive c'est avec des connaissances trop peu étendues pour pouvoir exercer une influence utile sur le pays dans lequel elle va se fixer. Si on réussissait à capter, au profit de l'agriculture, une partie des jeunes inutiles, des jeunes désœuvrés que leur fortune appelle à posséder des terres, on rendrait un véritable service au pays. Sans avoir même l'espérance de réussir à faire jouer à ce qui reste de la noblesse

française un rôle sérieux analogue à celui que remplit avec tant de succès l'aristocratie anglaise, on trouvera nombre de jeunes gens désireux d'embrasser cette rude carrière des champs, à mesure qu'ils apprendront, par les exemples de réussite de leurs prédécesseurs, qu'elle peut conduire à l'aisance et qu'elle paye aussi largement que les autres occupations celui qui la pratique avec habileté.

Faire un institut agronomique, c'est certainement imprimer un mouvement fécond aux sciences naturelles, c'est sans doute utiliser des jeunes gens qui resteraient désœuvrés, faute de trouver un débouché à leur convenance, c'est répandre dans le pays, par les élèves sortant, de saines notions d'économie politique en même temps que des principes scientifiques certains, dont l'application ne pourra manquer d'être fréquente..

Si le but qu'on veut atteindre est ainsi bien défini, faire progresser la science agricole et la répandre, la diffuser, de façon que des vocations se révèlent et que des adeptes plus nombreux entrent résolûment dans la carrière agricole, il n'est pas douteux qu'il faille placer l'école d'agriculture supérieure à Paris.

Le choix peut, au premier abord, paraître singulier. Comment, une école d'agriculture à Paris, mais cette école n'aura donc pas de domaine rural? Qu'est-ce qu'une école d'agriculture dans laquelle on ne fait pas de culture? Ne serait-il pas plus sage de ne pas se lancer dans un enseignement purement théorique; de conserver la pratique à côté de la théorie, et d'établir l'école supérieure à Grignon, par exemple, qui, malgré les modifications qu'il a subies récemment, possède encore un domaine rural étendu. En développant les programmes d'entrée dans cet établissement, en développant encore les cours, en ajoutant quelques chaires à celles qui existent déjà, n'a-t-on pas plus de chances de réussir que si on fait une chose absolument nouvelle et en dehors de toutes les idées admises jusqu'à présent?

Nous ne pensons pas qu'il faille raisonner ainsi, et il nous sera sans doute facile de lever les objections que paraît, au premier abord, susciter le rapport de la commission. — Toutes les grandes écoles que nous avons en France, qui ont porté si loin nos connaissances industrielles, sont des écoles théoriques; il n'y a pas plus d'usines à exploiter à l'École des arts et manufactures, que de mines à l'École des mines; on ne fait pas de routes, on ne jette pas de ponts à l'École

des ponts et chaussées; il n'y a pas d'étude d'avoué ou de notaire à côté de l'École de droit, et les élèves de l'École de Saint-Cyr ne livrent pas une seule bataille dans l'année. On ne ferait donc qu'imiter ce qui existe partout en donnant, dans une école d'agriculture, les préceptes de la science agricole, en dehors de toute application immédiate. Toute l'année, au reste, ne serait pas consacrée aux exercices théoriques; aussitôt les cours finis, les élèves seraient astreints à exécuter des voyages et à visiter des exploitations rurales en France ou à l'étranger, ils devraient remettre, au retour, des mémoires résumant ce qu'ils ont vu; ils auraient eu ainsi sous les yeux de véritables exploitations agricoles réalisant des bénéfices et non des cultures administratives qui se soldent invariablement en perte [1].

Au reste, l'idée que nous soutenons avec le rapporteur, M. Tisserand, a pour elle la sanction de l'expérience. « Au début, toutes les académies agricoles, toutes les écoles supérieures, tant en Allemagne qu'en France, ont été fondées avec de grandes fermes comme annexes indispensables, destinées à donner l'enseignement pratique. Depuis on en a reconnu l'inutilité ! Les personnes les plus autorisées se sont prononcées à cet égard. Le baron de Liebig, dans un travail récent, a donné une histoire très-intéressante, à ce point de vue, du domaine rural de Hohenheim. Tous les établissements supérieurs de création récente n'ont plus de ferme exploitée dans l'intérêt de l'éducation.

« ... La commission, en repoussant l'adjonction d'une ferme à l'École supérieure, n'entend pas supprimer tout exercice pratique. Loin de là : il faut un vaste laboratoire agricole où professeurs et élèves puissent se livrer aux recherches suggérées par le développement de la science. Les premiers doivent y trouver tout l'espace, tous les éléments propres à des démonstrations pratiques sur les machines, les végétaux, les animaux, les sols, les engrais, etc., etc., tandis que les seconds doivent s'habituer à y

[1] Dans son *Rapport*, M. Tisserand rappelle que « les trois fermes annexées à l'Institut agronomique de Versailles, sans qu'on eût aucune construction à faire, coûtèrent en 1849, 1850 et 1851, 1,868,223 fr. Pendant le même temps, l'École a causé une dépense de 479,123 fr., en y comprenant plus de 60,000 fr. de travaux de bâtiments, les frais généraux de direction et tout l'enseignement. Les recettes des fermes ont été, dans le même temps, de 429,503 francs. »

suivre les expériences, à les conduire et à en instituer eux-mêmes de nouvelles. Un champ d'expériences de vingt à trente hectares suffira largement à toutes les exigences de l'enseignement. »

Aussitôt qu'on adopte ces idées, il n'y a plus de raison pour établir l'école supérieure à Grignon ; malgré le chemin de fer qui conduit à cet établissement les communications y sont difficiles ; jamais on ne trouvera un corps enseignant composé d'hommes de premier ordre, se résignant à habiter les environs de l'école qui serait, au reste, fort empêchée de les loger ; et si les professeurs font seulement le voyage pour aller faire les cours, ils restent, pendant la majeure partie du temps, éloignés de l'objet de leurs études, ils ne peuvent les suivre que de loin, et le but n'est pas atteint : on ne se met pas résolûment à l'œuvre pour faire progresser la science agricole.

Dans le projet adopté par la commission, les cours de l'école comprennent deux années. Dans la première, les élèves complètent leur instruction générale en écoutant des cours de mécanique, de physique, de chimie, de botanique et physiologie végétale, de zoologie et physiologie animale, de minéralogie, de géologie, de météorologie, de législation générale, et commencent même leur instruction technique avec les cours de génie rural et de constructions agricoles, et de géographie agricole. Pendant la seconde année, les cours se spécialisent : ils comprennent l'agriculture générale, la zootechnie, la sylviculture, la viticulture, l'arboriculture, l'horticulture, la technologie agricole, l'économie rurale et la statistique agricole, l'histoire de l'agriculture et l'agriculture comparée.

Des exercices pratiques sont ajoutés à ces cours, les élèves s'exercent au dessin, aux manipulations chimiques, à l'emploi du microscope, etc. — Le nombre des chaires serait fixé à 16 ; les professeurs feraient ou 56 leçons, et alors ils recevraient 7500 fr., ou 28 leçons, et dans ce cas leur traitement atteindrait seulement 5000 fr. ; des répétiteurs seraient attachés à chacune de ces chaires.

On le voit, la commission a tout prévu, elle discute même avec raison la question de la gratuité, à laquelle elle s'oppose en principe et avec raison. Il est évident que pour faire de la culture, il faut un capital, et qu'un jeune homme incapable de subvenir aux

frais de son éducation ne peut se lancer fructueusement dans cette carrière; par exception, toutefois, des bourses peuvent être accordées ; dans l'esprit de la commission, ces bourses donneraient non-seulement la gratuité des cours, mais encore 1,000 fr. par an. Il y aurait d'autres bourses donnant la gratuité et une allocation de 500 fr.; et, enfin, d'autres ne donnant que la gratuité. Ces bourses seraient accordées au concours, et seulement aux jeunes gens présentant des aptitudes réelles, laissant l'espoir que le sacrifice fait par l'État sera un bon placement d'avenir pour le pays. »

Parmi les édifices actuellement existants où l'école pourrait s'installer, la commission cite les bâtiments du collége Rollin qui va être transféré aux abattoirs Montmartre, ou l'hospice des femmes incurables, situé rue de Sèvres, actuellement abandonné; quant au terrain d'expériences, il pourrait être installé au parc de Montsouris que la ville de Paris se propose de transformer en jardin, ou à proximité d'une gare de chemin de fer. — Enfin, la commission pense que les frais annuels de l'enseignement ne s'élèveraient pas au delà de 225,000 fr., qui pourraient être à peu près couverts par le prix de la pension payée par les élèves. Quant aux dépenses de premier établissement, elles n'atteindront pas une somme considérable, 500,000 fr. environ, si l'on approprie à ce service un édifice public.—« Cette somme sera un prêt fait à l'avenir, mais, on peut le dire, jamais placement ne sera plus fructueux et plus populaire en raison de l'immensité des intérêts qu'il touche. Lorsque, formés par ce haut enseignement et après un sérieux apprentissage de la pratique agricole, un certain nombre de jeunes agriculteurs auront pu se répandre dans toutes les parties de la France faisant de leurs domaines autant de stations de recherches agronomiques d'où rayonneront les saines doctrines et les bons exemples, la défiance qu'inspire encore aujourd'hui la science à la plupart des cultivateurs disparaîtra. La profession de cultivateur sera de plus en plus en honneur, l'épargne restera dans la campagne, et le capital, trouvant plus de sécurité, se dirigera vers elle : la grande comme la petite culture, également éclairées et mieux guidées, fertiliseront les champs qu'elles exploitent au lieu de les épuiser, et arriveront à obtenir de notre sol et de notre beau climat les trésors qu'ils peuvent donner. Nos huit ou dix millions d'hectares incultes disparaîtront bien vite; la production augmentera rapidement, et avec elle la population. »

Le rapport remarquable que nous venons d'analyser rapidement est dû, nous l'avons dit, à M. Tisserand. Il est bien fait pour convaincre, et si, comme nous l'espérons, l'école supérieure d'agriculture est fondée, on se rappellera avec intérêt que M. Tisserand a été un des plus brillants élèves de l'Institut agronomique de Versailles.

Les dernières pages du rapport du commissaire général de l'enquête agricole, M. Monny de Mornay, au ministre, s'occupent d'une question bien importante, la sériciculture et le traitement de la maladie des vers à soie, dont nous n'avons pas cru devoir entretenir encore les lecteurs de l'*Annuaire*. On sait que M. Pasteur, membre de l'Académie des sciences, a étudié avec le plus grand zèle cette question délicate, et qu'aujourd'hui encore, à peine remis d'une maladie grave, il est parti pour le Midi afin d'y continuer ses études.

Arrêtons-nous à ce dernier point, il est caractéristique et il résume, en un mot, toute la conclusion qu'on peut tirer de la longue enquête dont le ministre de l'agriculture publie les nombreux volumes avec un zèle dont on ne saurait trop le louer. Ce qui manque à l'agriculture française, ce qui lui fait défaut partout, c'est la science, et on en trouve une preuve, non-seulement dans le désir qu'ont eu les départements méridionaux de voir un de nos savants les plus distingués s'occuper d'une des questions qui les touche davantage, non-seulement dans le vœu, si souvent émis, de fondation d'une école supérieure, mais encore dans les clameurs mêmes qui ont déterminé le gouvernement à faire l'enquête dont nous venons de résumer les points principaux.

P.-P. Dehérain.

GÉOGRAPHIE

LES EXPLORATIONS DE L'OCÉAN GLACIAL.

L'histoire des voyages polaires est peu faite pour encourager des entreprises nouvelles : les essais toujours inutiles, trop souvent désastreux, qui se sont multipliés depuis un siècle n'ont cependant pu éteindre l'espoir chez les explorateurs modernes, et, depuis quelques années surtout, les tentatives se renouvellent ou cherchent à se renouveler de toutes parts. — Un prestige remarquable s'attache à la possession de ce point, le *pôle*, dont les abords ont tour à tour revêtu, dans l'imagination des savants, les plus divers aspects. Nous disons dans l'*imagination*, car il n'y a pas bien longtemps que l'étude raisonnée des courants marins et atmosphériques, que les rapports qui les lient à la théorie des glaciers, ont permis de faire sur le climat des régions polaires des hypothèses qui présentent un degré de probabilité rapproché de la certitude.

Ce prestige ne prend pas seulement naissance dans l'amour-propre des navigateurs ou des nations maritimes, il est né surtout de la considération des nombreux problèmes auxquels la connaissance des régions arctiques et antarctiques apporterait une solution : la forme exacte de notre planète intéresse également la physique du globe et la mécanique céleste ; — et bien que suivant toute apparence, il faille renoncer à la découverte du fameux passage au nord-ouest, il est possible que la connaissance d'une mer polaire navigable eût de grands avantages au point de vue de la pêche.

Nous n'entreprendrons pas de raconter l'histoire des hardis marins qui ont cherché à se rapprocher du pôle Nord ; elle a

été faite ici-même, nous les avons vus[1] : se bornant tantôt à suivre les parties libres de la mer; tantôt cherchant à se faire jour à travers les glaces les plus légères en les entamant de la proue de leurs navires, ils ont même tenté quelquefois de s'avancer sur la glace unie au moyen de traîneaux. Dans ce dernier cas, les obstacles les plus considérables provenaient du défaut de continuité des parties solidifiées de l'Océan. Ce défaut de continuité obligeait en effet les voyageurs à contourner continuellement des flaques liquides, souvent d'une grande étendue, et qui reçurent le nom de *Polynias*. Cette dernière dénomination a depuis été étendue à la mer libre du pôle elle-même, et c'est vers cette mer hypothétique que semblent se tourner aujourd'hui les efforts des navigateurs.— La Polynia, c'est l'espace béni où les poumons du marin, desséchés par la froide atmosphère qui s'étend au-dessus d'un sol de glaces éternelles, doivent pouvoir aspirer un air humide et bienfaisant; c'est là que ses yeux, fatigués par l'éclatante réverbération de l'immense nappe congelée, doivent enfin se reposer sur la teinte plus sombre des vagues, et se réjouir au spectacle des phénomènes de la vie, qui, sans doute, dans ces régions relativement tempérées, doivent se manifester de nouveau. — Le navire qui, le premier, sillonnera les eaux de la Polynia aura réalisé ce conte des *Mille et une nuits*, où cent prétendants à la main d'une belle princesse, essayent en vain d'atteindre un temple enchanté situé au sommet d'une montagne de neige : tous périssent de froid avant d'avoir fait la moitié du chemin, tandis qu'un dernier, plus heureux,— grâce à l'anneau magique qui joue toujours le rôle principal dans ces conceptions de l'Orient, — arrive sain, sauf et vainqueur.

L'anneau enchanté des audacieux d'aujourd'hui, c'est la science; c'est le classement et la comparaison de faits déjà acquis au prix des plus grands périls ; c'est l'analyse approfondie des circonstanres connues ou probables qui se rattachent à la question. — Aux expéditions plus ou moins aventureuses d'autrefois, succèdent maintenant des entreprises mûrement préparées, longuement discutées, et où chacun cherche à réunir le plus de chances possibles en sa faveur.

Il y a un peu plus de deux ans, des voyages d'exploration au

[1] Voyez *Annuaire* de 1867 : F. Zurcher, *le Pôle Nord*.

pôle Nord étaient projetés, à peu près en même temps, en Suède, en Allemagne et en France. Mais, tandis que dans les deux premiers de ces pays, l'idée était suivie d'une prompte exécution ; le public français, accueillant avec faveur, mais sans enthousiasme, les démarches de M. Gustave Lambert[1], n'apportait à la réalisation de ses desseins qu'un concours matériel insuffisant. — A ce propos, on lira sans doute avec intérêt l'extrait des communications adressées au comité de patronage de Toulon, par le commandant Maury, président honoraire de ce comité. C'est grâce à l'obligeance d'un de nos collaborateurs, M. Zurcher, secrétaire du comité, que nous pouvons mettre sous les yeux de nos lecteurs ce document émané d'un marin dont le nom jouit d'une juste autorité.

« La Polynia (la mer libre du pôle) me paraît avoir une forme oblongue dont le grand axe serait parallèle au plan du méridien de Paris. En voici les raisons principales : les vents qui pénètrent dans le bassin polaire soufflent d'un côté de l'Asie et de l'Europe, et de l'autre, de l'Amérique. Ce sont des vents continentaux secs et extrêmement froids en hiver. Ils se rencontrent sur la mer ouverte, s'y chargent de vapeur et s'élèvent après s'être échauffés, comme cela a lieu dans la zone de calme équatoriale. Il doit y avoir quelque chose de semblable à une mousson entre la Polynia et les côtes de Sibérie, car, à mon avis, les pluies qui alimentent les grandes rivières sibériennes sont amenées par les vents venant de cette mer. Les steppes et les déserts de l'Asie les aspirent au printemps et en été ; de même qu'en été et en automne ces régions en aspirent d'autres des mers situées au sud. La mousson du sud arrose l'Inde, et celle du nord la Sibérie.

« Ma rapide esquisse vous permettra de saisir les vues que je désire présenter et de comprendre comment on est ainsi conduit à poser la question suivante : sur cette surface de « 800,000 hec« tares inexplorés » dont parle M. Lambert, la mer ouverte n'est-elle pas placée plus près des côtes américaines que des côtes asiatiques, et aussi plus près de la mer du Nord que du détroit de Behring ?

« Il me reste peu de chose à ajouter à ce que j'ai écrit sur les ré-

[1] Voyez *Annuaire* de 1868.

gions polaires, sans répéter ce que d'autres ont beaucoup mieux dit que moi. Les montagnes de glace flottantes (*ice-bergs*) me semblent cependant suggérer une vue favorable à la route choisie par le capitaine Lambert.

« La précipitation dans les régions arctiques et antarctiques, comme dans les Alpes et les autres montagnes à glaciers, est plus grande que l'évaporation. L'excès de l'eau tombée descend des montagnes sous la forme de glaciers, et lorsque ces montagnes sont voisines de la mer les glaciers y sont lancés par fragments et emportés comme ice-bergs. Les eaux antarctiques, qui ont une étendue équivalente à peu près à l'Asie, sont semées de ces ice-bergs qui évacuent l'excès de précipitation des régions polaires australes, et par suite aucune accumulation de glace excessive ne peut s'y produire.

« La même chose se passe dans les régions arctiques, mais dans de moindres proportions, et au lieu de pouvoir librement flotter dans la direction de tous les méridiens, comme au pôle Sud, les ice-bergs arctiques ne peuvent s'échapper que par un petit nombre de canaux aboutissant à l'océan Atlantique.

« Le détroit de Behring ne donne point passage à des ice-bergs; qu'advient-il alors de ceux qui proviennent des rivages septentrionaux d'Aliaska et de la Sibérie orientale ou des îles voisines? Ne doivent-ils pas dériver à travers la mer ouverte pour aller ensuite se fondre dans l'Atlantique? Il y aurait sans cela une accumulation indéfinie de glace et de neige sur ces côtes et dans ces eaux; on verrait se réaliser la vieille idée d'une grande proéminence de la terre au pôle, au lieu d'une dépression.

« Les ice-bergs d'Aliaska et de la Sibérie trouvent ainsi un chemin libre, de leur berceau du nord-ouest à leur tombeau dans l'Atlantique. Le capitaine Lambert devra donc tâcher de régler son voyage de manière à se trouver en bonne position pour pouvoir en profiter. J'espère qu'il arrivera au moment favorable et en lui souhaitant la protection de Dieu j'ajoute avec le salut cordial d'un marin : bonne chance pour l'accomplissement d'une si généreuse entreprise! »

L'on ne sait encore si les Allemands ont retiré de leur campagne maritime tout le fruit qu'ils en espéraient; mais l'expédition suédoise, aujourd'hui complétement achevée, semble affirmer une fois de plus qu'au delà du 82e parallèle l'Océan devient

impraticable aux navires : les Suédois sont en effet revenus sans avoir pu dépasser la latitude de 81°42′ nord. La *Sophia*, sous la direction du professeur Nordenskjœld, quitta Tromsœ le 20 juillet 1868 : arrivée le 29 en vue du cap Sud, la pointe la plus méridionale des Spitzberg, elle se trouva bientôt arrêtée dans sa course vers le nord par un labyrinthe de glaces; le 26 août, la *Sophia* rencontrait un véritable continent d'eau solide. — Les marins suédois, d'après des calculs approximatifs, se croyaient alors sous 81°22′ nord, tandis qu'abusés, comme Parry en 1827, ils s'étaient trouvés insensiblement entraînés par les glaces en mouvement sous 81° 10′ seulement. Ce ne fut que le 27, lorsque le soleil reparut, que des observations astronomiques précises purent les convaincre de leur illusion.

Jusqu'au 1er octobre, l'expédition s'efforça vainement de s'élever vers le nord; ce n'est que le 3 que la *Sophia* put chercher à fendre à l'aide de la force propulsive de sa machine, la couche de glace devenue moins épaisse : tout allait bien, lorsqu'une tempête survint dans la journée du 4. Le navire poussé contre les glaçons reçut un choc qui détermina une voie d'eau.

Forcés alors de gagner l'île d'Amsterdam pour réparer les dégâts, les savants et les marins suédois tentèrent bientôt un nouvel essai de progression vers le nord, en suivant la lisière des glaces jusqu'à 24° de longitude E. Cet essai fut aussi stérile que le premier; et, après une tourmente survenue le 16 octobre, l'expédition dut retourner à Tromsœ, où elle reparaissait le 20.

L'expédition suédoise n'a donc pu conduire à aucun résultat géographique d'une importance capitale ; elle n'a cependant pas été sans fruit; on possède maintenant, grâce à elle, la carte exacte de l'île Fjord, celle du détroit de Foreland, de Liefse-Bay. — Les sondages de M. d'Otter, entre la Norwége et les Spitzbergen ont fourni également d'utiles connaissances sur la constitution du fond de la mer. Les divers savants qu'avait rassemblés l'expédition[1] ont réuni de nombreuses et importantes observations, grâce auxquelles l'histoire naturelle de l'archipel du Nord est aujourd'hui connue.

Enfin, les Suédois, par leur échec même, ont pu léguer des renseignements de nature à éclairer les explorateurs de l'avenir

[1] MM. Nustrœm, médecin; Fries et Bergien, botanistes; Malgrœm, Smith et Holmgren, zoologistes; Lemstren, physicien; et Lanckff, géologue.

sur le mode de transport qui convient aux voyages polaires :

« Je suis convaincu, dit M. d'Otter, dans son rapport officiel, que l'expédition a pénétré aussi avant qu'il est possible dans l'eau ouverte. Les voyages de la marine anglaise, en 1773, sous le commandement de Phipps et de Ludwidge, en 1818 sous celui de Bucham et de John Franklin, en 1827, sous celui de Parry, comme aussi les expéditions russes de Tchitschagoff en 1765 et 1766, et dix-sept années de navigation dans ces parages du baleinier Scoresby, montrent que les courses jusqu'à 81° de latitude ont rarement réussi au commencement de l'été, de mai à juin. Quant à la lacune qui restait dans nos connaissances sur la situation des glaces du mois d'août au commencement de septembre, elle se trouve comblée par les tentatives faites par le navire à vapeur la *Sophia* à trois reprises, du 23 au 28 août, du 17 au 25 septembre, du 1er au 4 octobre. Un fait certain, il est vrai, c'est que *dans le courant du mois d'août et la plus grande partie de septembre la glace diminue chaque jour en quantité, en même temps qu'elle se gâte en qualité, qu'*ELLE POURRIT, *comme on dit.* Néanmoins elle ne devient pas navigable, même avec le secours de la vapeur. Les tempêtes qui surviennent vers la fin de septembre divisent bien les masses de glace et la sillonnent de canaux, mais la congélation nouvelle de la mer entre les champs de glace, et les jours toujours plus courts, rendent la navigation dangereuse. Un navire parvenu au milieu des glaces sous l'influence d'une de ces tourmentes a peu d'espoir d'en ressortir que la glace soit nouvelle et constamment brisée par la mer, ou qu'elle soit ancienne, épaisse et composée de glaçons entassés les uns au-dessus des autres.

« Pour résoudre la question avec chance de succès, il faudra préférer des courses en traîneaux au printemps avant la disparition de la croûte de neige solide qui se forme au-dessus de la glace. » Et M. d'Otter ajoute dans une lettre particulière : « L'honneur du pavillon reste debout, puisque personne n'est en mesure de prouver avec des pièces authentiques que la hauteur du soleil sur le pont d'un navire ait été observée à une latitude aussi élevée que nous... Même en protégeant son vapeur par une armature en fer, on ne pourra exiger d'aucun marin de dépasser de plus d'un degré la limite extrême que nous avons atteinte vers le nord. Ce qui prouve cette assertion, c'est qu'en nombre de points nous

avons fait sauter des glaçons qu'un navire à voile n'aurait jamais franchi. Parvenue à sa limite extrême de 81°42′ de latitude, la *Sophia* n'a trouvé aucune fissure, aucune trace d'eau libre dans la direction du nord qui n'ait été essayée. Je suis certain qu'au delà de ce point, un homme muni d'une gaffe aurait pu s'avancer au moins d'un mille dans toutes les directions sur les glaçons. Nous atteignîmes le point à huit heures du matin... Cette fois le courant nous avait été favorable. Plus à l'ouest, on trouve de nouveau que celui-ci tourne régulièrement de 12 à 20 au sud-ouest par jour, ce qui est connu depuis longtemps. »

« Pendant toute la durée de la belle saison, la navigation fut très-animée et intéressante au plus haut point. Mais dès que le soleil commença à disparaître, toutes les conditions se transformèrent. Nous trouvâmes ainsi au bout de dix jours la lisière des glaces à environ 1 degré plus au sud qu'elle n'avait été auparavant, lors de notre passage sous les mêmes méridiens. De même nous rencontrâmes à notre retour près de la côte occidentale des Spitzbergen des glaces flottantes de plus de 1 mètre et demi de profondeur qui furent difficiles à traverser. »

On pourrait peut-être élaguer du rapport de M. d'Otter les lignes que lui a dictées son amour-propre national. — En tout cas, si l'expédition suédoise n'a pas donné le dernier mot de ce que peut la navigation, du moins a-t-elle rapporté une série d'enseignements dont l'importance n'échappera à personne.

J. Dalsème.

APPENDICE

LE PASSAGE DE MERCURE.

En corrigeant les épreuves de la note insérée page 27, nous recevons le numéro des *Monthly notices*, qui contient de nombreuses observations du passage de Mercure, effectuées en Angleterre. Le temps nous manque pour réduire au centre de la Terre et en temps moyen de Paris, les temps du second contact intérieur ; bornons-nous à donner la moyenne des treize observations dues aux astronomes dont voici les noms : MM. Dunkin, Criswick, Stone, Lynn, J. et J.-H. Carpenter, Piazzi Smyth, Plummer, Lassell, Penrose, J. Buckingham, Prince et Cap. Noble. Cette moyenne est $9^h\,0^m\,16^s6$, t. m. de Greenwich ou bien $9^h\,9^m\,37^s6$, t. m. de Paris.

Le même recueil renferme une note intéressante de M. W. Huggins sur l'apparence qu'a présentée le disque de Mercure, pendant son passage sur le Soleil. Tout autour du disque, qui ressemblait à une tache ronde, noire et bien définie, on voyait un anneau lumineux, une sorte d'auréole dont l'éclat était légèrement plus brillant que les parties environnantes du disque du Soleil. Sa largeur était d'environ le tiers du diamètre apparent de Mercure, et on n'y remarquait aucune dégradation depuis les bords obscurs du disque jusqu'à la limite de l'anneau.

En outre, M. W. Huggins a observé un point lumineux, sans dimension appréciable, du moins avec le grossissement employé, et situé à peu de distance du centre de la planète. Ce point, ainsi que l'auréole, sont restés visibles pendant toute la durée du passage. M. Huggins compare ces deux phénomènes à ceux de même nature qui ont été observés à diverses époques, et notamment en 1799 par Schræter et Harding, et en 1832 par le docteur Moll ; et il discute la question de savoir si l'auréole est produite par une atmosphère qui environne Mercure ou si elle

est simplement un effet de contraste, comme le croit M. Stone qui a vu l'anneau comme M. Huggins, mais sans apercevoir le point lumineux. Il fait remarquer en outre que la position excentrique de ce dernier point ne peut guère s'expliquer, si, comme le professeur Powel a cherché à le démontrer antérieurement, c'est un phénomène qui dépend uniquement de la diffraction de la lumière.

A. G.

SUR LA COMBINAISON DE L'HYDROGÈNE AVEC LE PALLADIUM.

NOUVELLE COMMUNICATION DE M. GRAHAM [1].

Nous avons résumé dans un article inséré page 107 de ce volume et écrit au mois de novembre, les derniers travaux de M. Th. Graham sur l'occlusion des gaz par les métaux et nous avons particulièrement insisté sur la propriété curieuse que possède le palladium d'occlure un volume d'hydrogène plusieurs centaines de fois plus grand que le sien ; nous avons discuté dans l'*occlusion des gaz* l'interprétation qu'il fallait donner des travaux de M. Graham; l'idée d'une combinaison de l'hydrogène avec le palladium s'était présenté à notre esprit, mais nous l'avons repoussée parce que nous ne connaissions à ce moment aucun changement dans les propriétés du palladium déterminé par l'occlusion de l'hydrogène. Mais aujourd'hui M. Th. Graham vient de montrer que le palladium subit, contrairement à ce que nous croyons, de profondes modifications que notamment sa densité est diminuée, sa ténacité l'est également. M. Th. Graham tire de ses études cette conclusion que le palladium renfermant l'hydrogène est un véritable alliage, « dans lequel la volatilité de l'un des éléments est comprimée par son union avec l'autre et qui doit son aspect métallique également aux deux corps qui le composent. »

Il y a bien longtemps que nous enseignons d'après une vue profonde de M. Dumas, émise depuis bien des années, que l'hydrogène est un métal, mais il nous manquait pour donner à cette idée qu'imposait l'étude des propriétés chimiques de l'hydrogène un caractère de certitude absolu : il nous manquait, disons-nous, une propriété physique frappante. M. Dumas avait dit que si on liquéfiait l'hydrogène, il aurait l'apparence du mercure ; mais on n'imaginait pas que cette prophétie se réalisât jamais et cependant, les nouvelles expériences de M. Th. Graham dé-

[1] 18 janvier 1869. — *Comptes rendus*, t. LXVIII, p. 101.

montrent clairement que M. Dumas avait vu loin et juste, l'*hydrogénium* doit être classé aujourd'hui parmi les métaux.

Quand on fait pénétrer l'hydrogène dans un fil de palladium, on remarque que celui-ci augmente peu à peu de volume; l'allongement, qui est surtout sensible, varie avec la quantité d'hydrogène occlus; il atteint 9 millimètres pour un fil de 609 millimètres.

En mesurant avec soin le changement de volume du palladium, qui est très-appréciable, en déterminant d'autre part le volume du gaz hydrogène qui a été condensé dans le palladium, on peut savoir quel est le volume que possède l'hydrogène dans le palladium, et par suite déterminer sa densité. M. Graham la fixe à 1,951 ou près de 2; elle ne serait donc pas très-différente de celle du magnésium.

« La ténacité du palladium est amoindrie par l'addition de l'hydrogène, mais d'une manière peu considérable, et l'on se demande si le degré de ténacité qui subsiste est compatible avec aucune autre théorie que celle qui envisage le second élément en présence, comme doué lui-même de la ténacité qu'on observe dans les métaux.

« On observe généralement une diminution dans le pouvoir conducteur des alliages, pour l'électricité. » C'est aussi ce qui a lieu pour le palladium chargé d'hydrogène, mais la conductibilité reste néanmoins considérable, et le résultat peut être regardé comme favorable au caractère métallique du second élément du fil.

Un des faits les plus curieux signalés par M. Th. Graham dans ce mémoire destiné à un si grand retentissement, est la faculté magnétique de l'hydrogénium. Le palladium est par lui-même médiocrement magnétique, mais son magnétisme s'accroît sensiblement lorsqu'il est chargé d'hydrogène, et on en peut conclure que l'hydrogénium est magnétique; c'est là, on s'en souvient, une propriété qui n'appartient d'une façon sensible qu'aux métaux et aux combinaisons qu'ils forment entre eux.

Ainsi, on peut conclure que le palladium complétement chargé d'hydrogène est un composé de palladium et d'hydrogène dans des proportions qui sont voisines de celles d'équivalent à équivalent; que les deux substances sont solides, métalliques et blanches. L'alliage contient environ 20 volumes de palladium pour 1 volume d'hydrogénium. Les propriétés chimiques de l'hydrogénium le distinguent de l'hydrogène ordinaire. L'alliage de palladium précipite le mercure et son protochlorure d'une dissolution de bichlorure de mercure sans aucun dégagement de gaz; en un mot il paraît constituer la forme active de l'hydrogène, comme l'ozone est celle de l'oxygène.

P.-P. D.

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

SCIENCES PURES

ASTRONOMIE

PHYSIQUE

NÉCROLOGIE ET BIBLIOGRAPHIE

CHIMIE

NÉCROLOGIE ET BIBLIOGRAPHIE

PHYSIQUE DU GLOBE

BIBLIOGRAPHIE

SCIENCES NATURELLES

BIBLIOGRAPHIE

DEUXIÈME PARTIE

SCIENCES APPLIQUÉES

ART DE L'INGÉNIEUR

BIBLIOGRAPHIE

ART MILITAIRE

PHYSIQUE APPLIQUÉE

CHIMIE APPLIQUÉE

MÉDECINE

BIBLIOGRAPHIE

AGRICULTURE

BIBLIOGRAPHIE

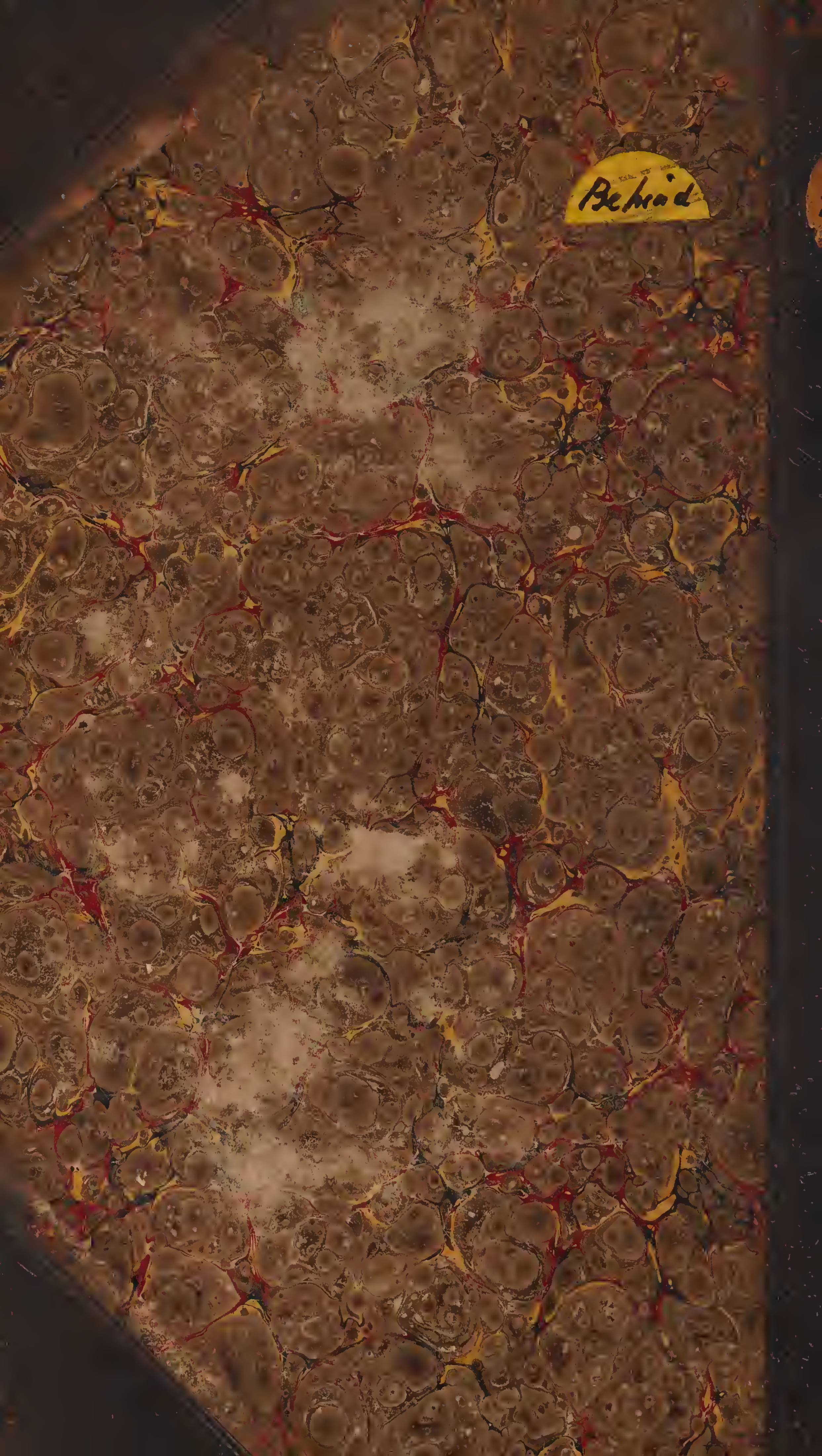
GÉOGRAPHIE

APPENDICE

AUTEURS

CITÉS DANS CET OUVRAGE

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1.


Behaid